



Sub-bottom profiling och undervattensscanning

Översikt av utrustning för sub-bottom profiling och undervattensscanning för små farkoster

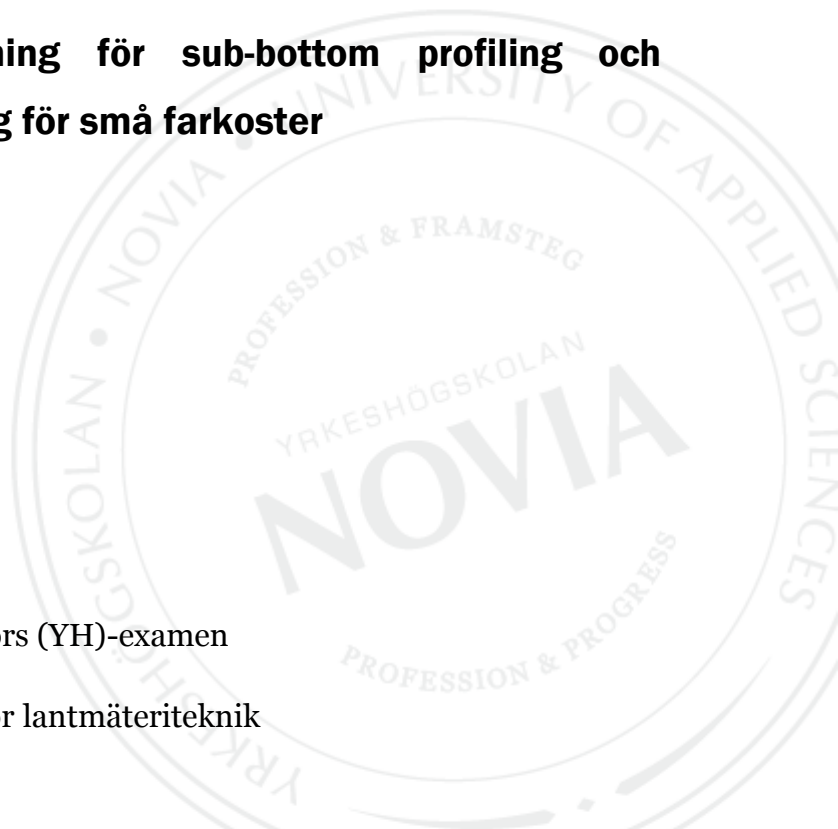
Axel Sahlström

Mikael Sundqvist

Examensarbete för ingenjörers (YH)-examen

Utbildningsprogrammet för lantmäteriteknik

Vasa 2015



EXAMENSARBETE

Författare: Axel Sahlström och Mikael Sundqvist

Utbildningsprogram och ort: Lantmäteriteknik, Vasa

Handledare: Leif Östman

Titel: *Sub-bottom profiling och undervattensscanning*

Datum 17.4.2015

Sidantal 52

Bilagor 2

Abstrakt

Examensarbetet är en tvådelad studie/marknadsundersökning av olika system för att akustiskt bestämma bottenmaterialets beskaffenhet och göra tredimensionella scanningar av undervattensobjekt. Uppdragsgivare är mätningshuset Oy Mapteam Ab. Grundidén med arbetet är att kartlägga olika utrustningar och mjukvara för behandling av mätdata, samt kartläggning av arbetsmodeller med ifrågavarande utrustning.

I den teoretiska delen av arbetet presenteras principen bakom användningen av akustik vid mätningar under vattenytan och det redogörs för grundläggande faktorer som vattnets akustiska egenskaper och ljudvågors rörelser. Förutom undervattensscanning och sub-bottom profiling presenteras även andra metoder och användningsområden för akustisk mätning. Eftersom arbetet handlar om undervattensaktivitet presenteras även undervattenspositionering och utnyttjande av undervattensfarkoster i teoridelen.

I den empiriska delen undersöktes de mest lämpliga utrustningarna för uppdragsgivarens behov. Detta gjordes främst genom att besöka tillverkarnas hemsidor för att bekanta sig med deras produkter. Även kommunikation med tillverkarna via e-post och diskussioner med uppdragsgivaren samt övrig expertis användes.

Språk: svenska

Nyckelord: sub-bottom profiling, undervattensscanning

OPINNÄYTETYÖ

Tekijät: Axel Sahlström ja Mikael Sundqvist
Koulutusohjelma ja paikkakunta: Maanmittaustekniikka, Vaasa
Ohjaaja: Leif Östman

Nimike: *Sub-bottom profiling ja vedenalainen skannaus*

Päivämäärä 17.4.2015

Sivumäärä 52

Liitteet 2

Tiivistelmä

Tämä opinnäytetyö on kaksiosainen tutkimus erilaisista akustisista järjestelmistä, joita voidaan käyttää vesipohjasedimenttien määrittelemisessä ja vedenalaisten rakennelmien tutkimisessa. Tilaaja on mittaustalo Oy Mapteam Ab. Työn idea on kartoittaa erilaisia laitteita ja ohjelmistoa sekä tutkia niiden toimivuutta käytännössä.

Teoreettisessa osiossa käydään läpi akustiikan käyttö vedenalaisissa mittauksissa ja selitetään myös veden akustiset ominaisuudet sekä ääniaaltojen perusteet. Vedenalaisen skannauksen ja sub-bottom profiling -tekniikan lisäksi kerrotaan myös akustisten mittauslaitteistojen muista käyttömahdollisuuksista. Teoreettisessa osiossa perehdytään myös paikannukseen veden alla ja vedenalaisten aluksien käyttöön.

Empiirisessä osiossa tutkitaan, mitkä järjestelmät sopivat parhaiten tilaajan tarpeisiin. Tutkimus tehdään ensisijaisesti tutustumalla markkinoilla oleviin tuotteisiin valmistajien kotisivuilta. Myös vastavuoroinen viestintä valmistajien, tilaajan ja muiden asiantuntijoiden kanssa on tärkeä osa tutkimusta.

Kieli: ruotsi

Avainsanat: sub-bottom profiling, vedenalainen skannaus

BACHELOR'S THESIS

Author: Axel Sahlström and Mikael Sundqvist
Degree Programme and location: Land Surveying Technology, Vaasa
Supervisor: Leif Östman

Title: *Sub-bottom Profiling and Underwater Scanning*

Date 17.4.2015	Pages 52	Attachments 2
----------------	----------	---------------

Abstract

The bachelor's thesis is a two part study of systems for acoustic sub-bottom profiling and 3D-scanning of underwater structures. The client is Oy Mapteam Ab. The idea of this thesis is to get an understanding of the availability of different hardware and software and explore the workflow of said systems.

In the theoretical part the principles of acoustic measurements underwater are presented and the basics of the acoustic properties of water and the movement of sound waves are explained. Since the thesis covers underwater activity, other measurement methods and applications are explained in the theoretical part. The use of different underwater vehicles is also presented in this section.

In the empirical part the most suitable systems for the client are explored. This is mainly done by gathering information about the systems from manufacturers' homepages and communication with the manufacturers and other specialists in the field.

Language: Swedish	Key words: sub-bottom profiling, underwater scanning
-------------------	--

Innehållsförteckning

1	Inledning.....	1
1.1	Syfte	1
1.2	Tidigare forskning.....	2
1.3	Uppdragsgivare	2
1.4	Målgrupp.....	2
1.5	Litteratursökning.....	3
1.6	Arbetets disposition	3
2	Vågrörelser	4
2.1	Uppkomsten av en mekanisk vågrörelse.....	4
2.2	Vågtyper.....	5
3	Ljud i vatten.....	6
4	Ekolodning	7
4.1	Single beam.....	7
4.2	Multibeam.....	9
4.3	Interferometriska ekolod.....	10
4.4	Side-scan sonar	10
5	Undervattensfarkoster.....	12
5.1	Ubåtar.....	12
5.1.1	Alvin	12
5.2	ROV	14
5.3	AUV	15
6	Undervattenspositionering.....	16
6.1	Long Baseline System	16
6.2	Short Baseline System	18
6.3	Ultra Short Baseline System	19
7	Seismisk mätning.....	20
7.1	Magnetometer	21
7.2	Water Gun.....	22

7.3	Air Gun	23
7.4	Boomer.....	24
7.5	Sparker	25
7.6	Pinger-system.....	26
7.7	Parametriska system	26
7.8	Chirp-system.....	27
8	Sub-bottom profilers.....	28
8.1	Innomar	28
8.2	Applied Acoustics.....	30
8.3	Meridata	30
8.4	Kongsberg	31
8.5	Mjukvaror	32
8.5.1	Seg-y.....	32
8.5.2	Sonar wiz	33
8.5.3	CodaOctopus	33
8.5.4	Hypack.....	34
8.5.5	Triton	34
8.6	Slutsats	35
9	Undervattensscanning.....	37
9.1	BlueView	38
9.2	CodaOctopus.....	40
9.2.1	Möte med CodaOctopus	41
9.3	Tritech	42
9.4	Kongsberg	43
9.5	Mjukvara	44
9.6	Slutsats/resultat	44
10	Diskussion	45
11	Källförteckning.....	47
11.1	Figurer	51

Bilagor

Bilaga 1	Jämförelse av sub-bottom profilers
Bilaga 2	Jämförelse av undervattensscannrar

1 Inledning

Detta ingenjörsarbete är skrivet åt Oy Mapteam Ab och handlar om undervattensscanning och sub-bottom profiling. Att skriva ett arbete som handlar om sjömätning är väldigt passande för oss båda, eftersom vatten och hav är något som ligger oss varmt om hjärtat. Vi jobbade båda på Oy Mapteam Ab sommaren 2014 och då denna möjlighet dök upp var det ingen av oss som tvekade.

Sahlström, som gjorde primära forskningar i ämnena redan hösten 2011, kan konstatera att utvecklingen av produkterna har varit stor under de senaste fyra åren. Ett ingenjörsarbete då, hade säkert skiljt sig avsevärt från det som presenteras härnäst.

1.1 Syfte

Syftet med arbetet är att kartlägga olika utrustningar och mjukvaror för undervattensmätning. Idén är att uppdragsgivaren skall få mera information om ifrågavarande utrustning och potentiellt kunna utöka sitt tjänsteutbud med den befintliga farkosten som är en båt på ca 6 m. Detta innebär vissa begränsningar gällande utrustningens storlek.

Den första delen av arbetet behandlar bottenpenetrerande ekolod som används för att bestämma olika bottenskikt och bottenmassor. Dessutom presenterar man mjukvaror för behandling av mätdata och för att utföra massaberäkningar av t.ex. muddringsmassor och få information om materialegenskaper.

Den andra delen av arbetet behandlar användningen av tredimensionella undervattensscannrar vid undersökning av undervattensobjekt, som till exempel brofundament eller olika konstruktioner i hamnar. Arbetet innefattar en undersökning om olika tillverkare samt mjukvara för behandling av mätdata.

1.2 Tidigare forskning

Tidigare forskning inom området inkluderar bland annat tidigare kartläggningar av olika sorters ekolodningsutrustning för olika företag. Nyby och Åbacka (2010) har t.ex. undersökt olika Multibeam och Interferometriska ekolod, samt kartlagt behovet för olika sjömätningstjänster i Finland. Kankare (2013) har undersökt olika lodningsmetoder och utrustningar i världen och sammanställt ett informationspaket av detta. Anderson och Alotaibi (2014) har undersökt metoder för kartläggning av bottengeologi i Missouri, USA.

1.3 Uppdragsgivare

Detta examensarbete utförs åt mätningshuset Oy Mapteam Ab.

”Mapteam grundades år 1992 med inriktning på moderna mätningstjänster. Grundtanken är fortfarande den samma, ny teknik har naturligtvis ändrat arbetet en hel del.” (Oy Mapteam Ab, 2009)

Företaget utför olika mätkonsult tjänster både på land och till havs.

1.4 Målgrupp

Detta examensarbete riktar sig huvudsakligen till personer med grundläggande kunskaper om sjömätningar, som en översikt över sub-bottom profiling och 3D-scanning med hjälp av ljudvågor.

1.5 Litteratursökning

På grund av att ämnet i fråga innefattar relativt ny teknologi under ständig utveckling, har det använts mycket material från utrustningstillverkarens hemsidor samt forskningsrapporter och artiklar angående branschen då publicerat material i bokform varit begränsat.

1.6 Arbetets disposition

Arbetet har delats in i en teoridel och en presentationsdel. I teoridelen redogör man för vågrörelser samt vattnets egenskaper som inverkar på akustiska mätningar. Man går även igenom olika akustiska mätmetoder, undervattenspositionering samt undervattensfarkoster.

I presentationsdelen beskriver man produkter, både undervattensscannrar och sub-bottom profilars, som man hittat på marknaden. Man avslutar dessa presentationer med en sammanfattning och en resultatdel, där man kommer med en rekommendation om vad som skulle passa bäst för uppdragsgivarens användningsändamål.

2 Vågrörelser

Grundidén för lodning med hjälp av elektronisk utrustning baseras på uppkomst, fortplantning och reflektion av mekaniska vågrörelser. I kommande stycke kommer vi att gå igenom grunderna för vågrörelserns egenskaper. Vi kommer lära oss skillnaden mellan transversell- och longitudinell vågrörelse och vi kommer även att bekanta oss med uttryck som våglängd, amplitud, svängningstid och frekvens.

2.1 Uppkomsten av en mekanisk vågrörelse

För att en vågrörelse skall uppstå och fortplantas i ett medium behövs en störning som ger upphov till detta. En oscillation innebär att en svängning av en kropp upprepas med jämna intervall kring ett jämviktsläge. Amplituden (A) för en svängning är det största avståndet som uppstår från jämviktsläget. Kroppens rörelse från ett bestämt läge till följande samma läge kallas för en svängning eller en period. Tiden för detta kallas svängningstid eller periodtid (T). Svängningens frekvens (f) definieras som inversen av periodtiden och enheten är hertz (Hz).

Formeln för beräkningen av en svängningsfrekvens:

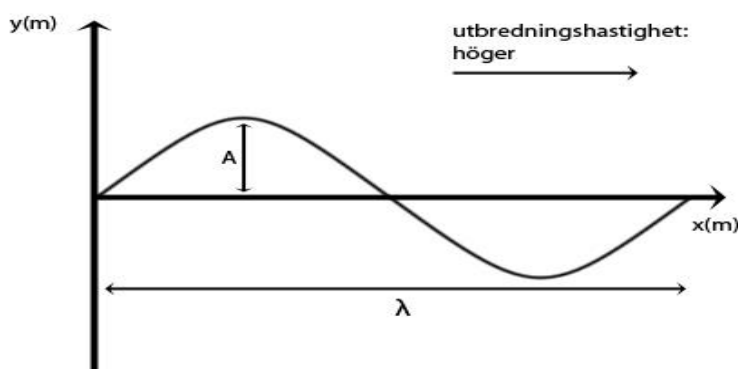
$$f = 1/T$$

$$[f] = 1/[T] = 1/s = 1 \text{ Hz}$$

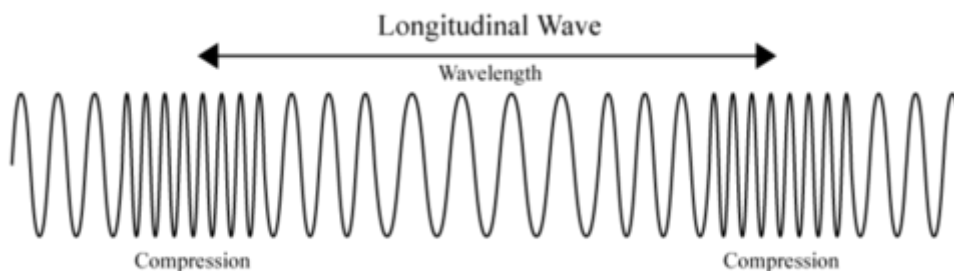
En svängning fortskrider genom ett medium i form av vågrörelser. Fortskridningen uppstår på grund av växelverkan mellan partiklarna. Då en partikel vibrerar stöter den till följande, som stöter till följande och så vidare. (Havukainen R, Lehto H, Leskinen J, Luoma T & Waxlax J, 2009, s. 9-17)

2.2 Vågtyper

Beroende av sättet vågen rör sig talar man om två typer av vågrörelse: transversell och longitudinell. I en transversell vågrörelse sker svängningarna vinkelrätt mot vågens färdriktning, ett exempel på detta är en svängande gitarsträng. En longitudinell vågrörelse å sin sida, breder ut sig genom förtätningar och förtunningar i mediet och svängningen sker i samma riktning som vågen rör sig. Det momentana rörelsetillståndet för en punkt i vågen kallas fas och avståndet mellan två närliggande punkter i samma fas kallas våglängd. (Jönsson, 1993, s. 38-43)



Figur 1 Transversell vågrörelse med amplituden A och våglängden λ . (Studerasmart.nu, 19.1.2015)



Figur 2 Longitudinell vågrörelse (Ck-12, 3.4.2015)

3 Ljud i vatten

Då ljud fortplantar sig handlar det om en longitudinell vågrörelse. Vatten är ett bra fortplantningsmedium för ljudvågor, på grund av att det är elastiskt och ett tätare medium än till exempel luft. Detta innebär att ljudet transporteras cirka 4,5 ggr snabbare i vatten än i luft.

Ljudhastigheten i vatten är beroende av vattentemperatur, tryck och salthalt eller salinitet. Då dessa faktorer ökar, ökar även ljudhastigheten, som i öppna hav ligger kring 1500 m/s. En grads temperaturförändring innebär en ljudhastighetsförändring på 3-4 m/s, en promilles förändring i salinitet eller 50 m förändring i djup, innebär vardera en ljudhastighetsförändring på ca 1 m/s. Framförallt sommartid är det viktigt att mäta vattnets egenskaper i samband med akustiska mätningar, eftersom temperaturskillnaden mellan det soluppvärmda ytvattnet och vattnet på lägre djup kan vara stor. (Borg, 2011, s 122-123)

Orsaken till att ljudvågor är ett bra hjälpmedel vid mätning under vattenytan är deras benägenhet att reflekteras. Akustisk impedans innebär hur lätt ett medium släpper igenom ljudvågor. Då en ljudvåg träffar en gränsyta mellan två material med olika akustiska impedanser sker en reflektion. Så länge ljudvågen går från ett tunnare till ett tätare medium, sker förutom reflektion även transmission, vilket innebär att delar av energin i vågen tränger in i följande medium. Samma sak sker vid följande gränsyta och detta fenomen är användbart då man t.ex. vill mäta tjocklekar på de olika bottensedimenten. (Jönsson, 1993, s. 115-116)

Problemet med att använda ljudvågor som mätmetod i havsvatten är deras svårberäknade och varierande egenskaper. I en homogen vätska skulle förlusterna från en ljudsignal vara enklare att beräkna, eftersom interna variationer saknas. Havsvatten däremot är t.ex. skiktat av varierande salinitet och temperaturförändringar och består av gränssytor som avsevärt ökar på förlusterna och orsakar svårigheter vid mätningar. Då en ljudpuls alstras och sprids från ljudkällan avtar dess intensitet omvänt proportionellt med kvadraten på avståndet. Förutom detta går det energi förlorad till värmebildning och vid oönskade reflektioner. Dessa förluster är frekvensberoende: ju högre frekvens desto större förluster. Frekvensvalet är alltid en balansgång eftersom det som vinnas i penetration, förloras i resolution. Därför bör frekvensanvändningen bestämmas efter mätningens ändamål. (Borg, 2011, s. 122-123)

4 Ekolodning

Man kan säga att första steget för användning av akustiska metoder vid sjömätning togs år 1826, då de schweiziska fysikerna Daniel Colladon och Charles Sturm lyckades mäta ljudets fortplantningshastighet i vattnet i Genève sjön, Schweiz. Det skulle dock dröja nästan 100 år till innan man på riktigt började använda sig av ljud vid sjömätningar.

Före första världskriget gjordes djupmätningar främst med blylodning, detta gjordes genom att fästa en lina, t.ex. en pianosträng till en blyvikt, vanligtvis en kanonkula. I och med första världskriget kom utvecklingen av olika slags undervattensteknologi igång på allvar. Den amerikanska marinen vädjade om hjälp av vetenskapsmän för att komma åt de osynliga u-båtarna. Detta ledde till att krigsfartygen utrustades med sonarer som kunde höra var ubåtarna befann sig. Även ubåtarna utrustades med sonarer, både för akustisk positionering och för morse kommunikation.

Efter en tid kom man på att lika bra som det går att mäta avstånd till andra fartyg och strandlinjen, går det även att mäta avståndet till havsbotten om man riktar utrustningen nedåt. De första instrumenten som användes hade en stor osäkerhet men var ändå en betydligt effektivare metod än att använda sig av en lodlina. (Oceanic Imaging Consultants, 2013)

4.1 Single beam

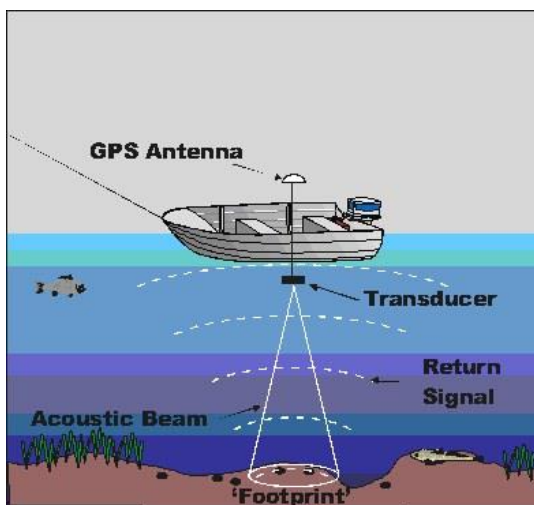
Single beam-ekolodning är den enklaste formen av ekolodning och något som är bekant för de flesta båtägare. Funktionen baserar sig på att en på fartyget monterad sändare sänder ut en akustisk puls. Pulsen reflekteras från en punkt rakt under fartyget och ”lyssnas av”, av mottagaren, som även den är monterad på fartyget. Det uppmätta djupet blir då tiden för pulsen att röra sig, multiplicerat med ljudets hastighet i vattnet. Eftersom pulsen rör sig ner till botten och sedan upp igen, alltså två gånger djupet, dividerar man svaret med två för att få det korrekta djupet. (USGS, 2014a)

Vinkeln på den utsända pulsen i ett single beam-system är mellan 10-30 grader. Detta betyder att svepbredden, alltså bredden av det mätta området per körlinje, är relativt liten.

Det är svårt att mäta orienteringen av en single beam-sändare även om mätfarkosten är utrustad för detta. Eftersom det finns en $\pm 5-15$ graders osäkerhet på grund av vinkeln av den utsända signalen, är det dessutom onödigt att mäta lutningen av sändaren, eftersom den i regel är lägre än osäkerheten orsakad av signalbredden.

På grund av dess osäkerhet och smala svepbredd har single beam-system en del begränsningar. De egentliga mätresultaten är inte helt pålitliga och den smala svepbredden betyder många körlinjer och lång tid för en heltäckande kartläggning.

Single beam lämpar sig för att producera helhetsbilder av havsbotten samt massaberäkningar. Data man får är simpelt och lätt att processa. (Substructure, u.å.)

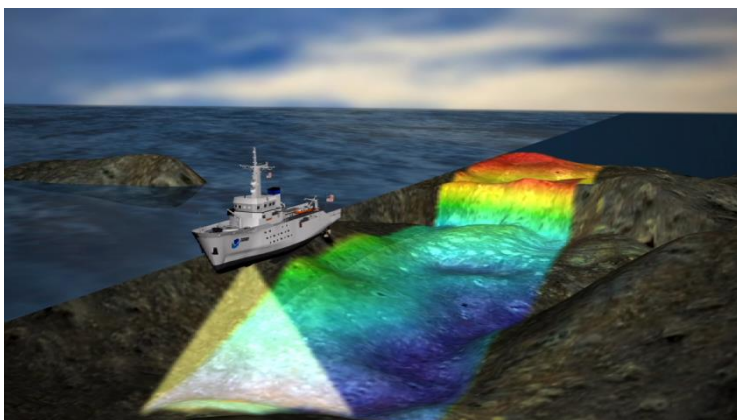


Figur 3 Funktionsprincipen för single beam-ekolod (Ozcoasts, 10.12.2014)

4.2 Multibeam

Multibeam-ekolodning är ett heltäckande system och är den vanligaste metoden som används för noggrann kartläggning av havsbotten i dagsläget. Utrustningen kan placeras direkt på lodningsfartyget, släpas efter eller placeras på en obemannad undervattensfarkost.

Till skillnad från single beam-systemet, där man skickar iväg en signal åt gången, sänder ett multibeam-system många signaler åt gången. Apparaturen mäter tiden och vinkeln för den reflekterade pulsen från sändaren till mottagaren och på detta sätt får man ett bredare svep än vid single beam-metoden. (National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA, u.å.a.)



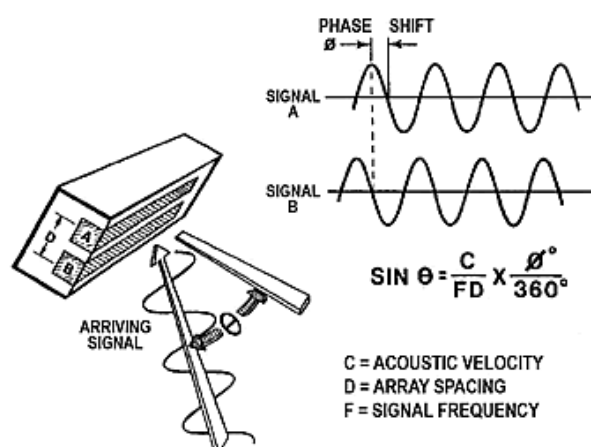
Figur 4 Användning av multibeam-ekolodning (Hydropalooza, 16.12.2014)

Trots att en multibeam-utrustning är betydligt dyrare än single beam, kompenseras detta snabbt tack vare tiden som inbesparas på fältet p.g.a. svepbredden, som kan vara upp till fyra gånger vattendjupet. Man får även en mera detaljerad bild av havsbotten och det processade data som fås, kan jämföras med data som fås vid en laserskanning på land. (National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA, u.å.b.)

4.3 Interferometriska ekolod

Ett interferometriskt ekolod, även kallad IFMS, producerar noggrann djupdata och är till stor nytta då man vill kartlägga grunda områden, där mätfarkostens färd är begränsad. Den största fördelen jämfört med ett multibeam-ekolod är att svepbredden är betydligt större, t.o.m. upp till 12 gånger vattendjupet.

Ett ekolod av den här typen består av givare placerade vertikalt ovanför varandra. Givarna består av en sändare och flera mottagare. Sändarna skickar iväg en ljudvåg som reflekteras från havsbotten, eller föremål på havsbotten och registreras av mottagarna. Tidsförskjutningen som uppstår mellan registreringarna mäts med hjälp av fasförskjutning. Tack vare detta kan man mäta vinkeln för varje signal. Då dessutom transporttiden för signalen mäts, kan man beräkna noggranna koordinater för varje utsänd puls. Beroende av användningsändamålet går det på nästan all utrustning att anpassa vågfrekvensen. (Gostnell, s. 2-5, u.å.)



Figur 5 Funktionsprincipen för interferometriska system (Oceanic Imaging Consultants, 4.1.2015)

4.4 Side-scan sonar

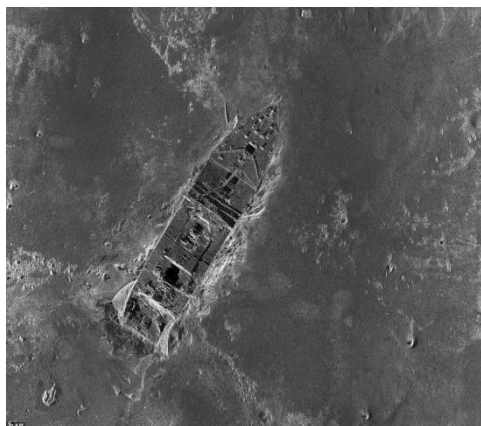
En side-scan sonar skapar en fotografiliknande bild av havsbotten, genom att mäta styrkan på retursignalen. Vanligt är att utrustningen är monterad på en s.k. "tow fish" och bogseras efter mätfartyget. Det finns även side-scan-sonarer som är fastmonterade i

fartygsskrovet och mindre, mobila stavmonterade instrument som monteras vid sidan av mätfartyget. Side-scan-teknik är ofta integrerad i multibeam- och single beam-utrusning.

Side-scan-data används sällan för att bestämma vattendjupet, utan man är i stället ute efter att avbilda havsbotten och samla information om bottenarten. Även vid sökande av objekt på botten är side-scan sonar ett användbart instrument. (National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA, u.å.c.)

Tekniken går ut på att det från vardera sida av instrumentet sänds ut en akustisk puls. Energin som följer med pulsen reflekteras tillbaka och beroende på materialet som pulsen reflekteras ifrån varierar energimängden. Exempelvis hårda föremål och stenar reflekterar en större mängd energi än ett mjuk lerbotten. I processfasen illustreras dessa skillnader med hjälp av olika färgstyrkor.

I och med att signalen träffar havsbotten med en snäv vinkel kan man hitta ojämnheter och uppstickande föremål, såsom t.ex. skeppsvrak. Detta betyder även att föremål rakt under instrumentet inte syns, eftersom den reflekterade energin registreras på sidorna av instrumentet. Även områden direkt bakom ett uppstickande föremål "hamnar i skuggan" av det avbildade föremålet och blir inte avbildade. För att få en heltäckande bild utan skuggade områden krävs alltså flera körlinjer och bra planering. (USGS, 2014b)



Figur 6 Side-scan-bild av Titanics främre del som ligger på atlantens botten (Daily Mail, 13.1.2015)

5 Undervattensfarkoster

Eftersom det i dagens läge på bred front sker aktiviteter under vattenytan, behöver man utrustning för att kunna utföra dessa. Förutom de traditionella bemannade ubåtarna använder man sig av olika slags robotar, både fjärrstyrda och helautomatiserade, för att utföra arbeten på djupa vatten.

Största fördelen med en robot istället för en människa är att robotar inte behöver andas och de klarar av ett större tryck än människan. Trots att det finns väldigt utvecklad dykutrustning når människan väldigt snabbt sina begränsningar då man opererar på djupare vatten. (Fraunhofer, 2010)

5.1 Ubåtar

Användningen av bemannade undervattensbåtar är något som inte enbart sker inom krigsföring, utan även för undervattensundersökningar. Med dagens teknik slipper man ner på väldigt djupa vatten och en fördel jämfört med att enbart skicka ner en robot, är att man kan göra direkta iakttagelser med blotta ögat, istället för att förlita sig på videokameror och sonarutrustning. (National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA, u.å.d.)

5.1.1 Alvin

Den äldsta och kanske den mest kända bemannade djuphavssubåten är Alvin och opereras av Woods Hole Oceanographic Institution (WHOI). Alvins första dykning gjordes 1964 och genom åren har det blivit över 4600 dykningar. Fortfarande gör den mellan 150 och 200 dykningar per år.



Figur 7 Alvin (Spaceref, 12.3.2015)

Alvin är känd för att ha varit farkosten som användes vid upptäckten av den första hydrotermala öppningen längs kusten av Galapagosöarna 1977. Hydrotermala öppningar är områden längs gränserna mellan kontinentalplattorna, där hett vatten blandat med mineraler strömmar ut. Vid undersökningarna med Alvin upptäckte man flera tidigare okända organismer. I juli 1986 gjorde Alvin 12 dykningar till RMS Titanic för att fotografera vraket.

Besättningen på Alvin består vanligtvis av en pilot och två forskare. Den kan nå ett max djup på 4500 m och kan vara under vatten i sammanlagt 72 timmar i sträck. Alvin är ca 7 m lång, väger ca 16 ton och har en maxfart på 2 knop. Dess moderskepp är R/V Atlantis och mellan dykningarna lyfts den upp på R/V Atlantis däck för service. Alvin är bl.a. utrustad med tre stycken ”kikhål” för observationer mot styrbord, babord och framåt, videokameror på utsidan av skrovet, ekolod samt två stycken hydraularmar som kan användas för att lyfta eller flytta objekt. Man kan dessutom använda sig av olika slags utrustning beroende på vilken typ av uppdrag man gör. (National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA, u.å.d.)

5.2 ROV

ROV är en förkortning av Remotely Operated Vehicle och är som namnet säger en farkost som styrs från ett annat ställe. Detta innebär att roboten kan befinna sig på farliga ställen under vattenytan, medan operatören sitter bekvämt och säkert vid spakarna ovanför vattenytan.

Roboten är sammankopplad med operatörens station med kablar som för elektrisk effekt, video och datasignaler mellan operatören och roboten. ROV:en kan röra sig i alla riktningar med hjälp av små propellrar som styrs av operatören. Positioneringen sker oftast med hjälp av Long- eller Short Baseline System.

En ROV kan utrustas på olika sätt beroende på hur stor den är och hurdana uppdrag man vill göra. De flesta ROV:ar är utrustade med åtminstone en videokamera och någon form av belysning, eftersom man ofta rör sig på så pass djupa vatten att solljuset är begränsat eller obefintligt. Övrig utrustning som används på ROV:ar är bland annat olika sorters akustisk mätutrustning som t.ex. undervattensscannrar, magnetometer, olika sorters mätinstrument för att undersöka t.ex. temperatur, vattenkvalitet eller ljusstyrka. Större robotar kan även vara utrustade med hydrauliska armar för att kunna lyfta eller kapa föremål. (Marine Technology Society, u.å.)



Figur 8 ROV utrustad med en Bluvision sonar (Subsea world news, 13.3.2015)

5.3 AUV

AUV, eller Autonomus Underwater Vehicles, är en annan typ av obemannad undervattensrobot. Den största skillnaden jämfört med en ROV är att en AUV inte styrs i realtid av en operatör, utan den rör sig och utför sina uppdrag enligt ett på förhand programmerat tillvägagångssätt. Man programmerar alltså färdiga rutter och djup för roboten, samt vad den skall göra. Efter utfört uppdrag återvänder AUV:n till programmerad koordinat och data som samlats in kan laddas ner och processas på samma sätt som med vanlig skeppsburen utrustning.

AUV:n utrustas ofta med side-scan och multibeam-utrustning och används till exempel vid sökandet av skepps- eller flygplansvrak. Även vid vanlig bottenkartläggning och inspektioner av kablar och rör på havsbotten används metoden. (National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA, 2015)



Figur 9 AUV från tillverkaren Kongsberg (Kongsberg, 12.3.2015)

6 Undervattenspositionering

Undervattenspositionering med hjälp av ljudvågor är en väsentlig del av dagens mätningar, borrhningar, byggen och inspektioner som sker under vattenytan. Anledningen till att man behöver en egen metod för positionering är främst beroende av att traditionella positioneringsmetoder med GPS eller takymeter inte är möjliga i vatten.

Undervattenspositioneringssystemen utvecklades under 1950- och -60-talet för olika forskningsprojekt i USA. Mycket har skett i den tekniska utvecklingen sedan dess och entreprenörernas behov av att komma ner på djupare vatten har ställt allt högre krav på utrustningen. Som nämndes tidigare är orsaken till behovet av system för positionering under vatten, begränsningarna av användning av traditionella metoder. Man använder sig ofta av interna koordinatsystem som vid behov kan transformeras till geografiska koordinatsystem. Noggrannheten är ofta viktigare inom det interna koordinatsystemet än i det geografiska.

Objekt som använder sig av undervattenspositionering kan vara dykare, mätutrustning som släpas efter ett fartyg eller undervattensfarkoster, som AUV och ROV. Beroende på arbetets art och noggrannhetskrav använder man sig av olika system för att positionera föremål under vattnet. (Tomczak, s 381-382, 2011)

6.1 Long Baseline System

Long Baseline System (LBL) är ett system för undervattenspositionering för dykare och undervattensfarkoster, där man använder sig av tre eller flera akustiska transpondrar placerade på havsbotten. Transpondrarna är ofta placerade längs gränserna av arbetsområdet och kan uppnå en noggrannhet på upp emot några centimeter. Metoden används ofta vid arbeten som kräver hög precision.

LBL systemet baserar sig på principen att mäta avståndet från dykaren eller undervattensfarkosten till de utplacerade transpondrarna. I praktiken betyder det att undervattensobjektet sänder iväg en akustisk signal som transpondrarna lyssnar av. Dessa

svarar sedan med en ny signal, som tas emot av dykaren eller undervattensfarkosten. Genom att mäta transporttiden för signalerna kan man triangulera objektet och på så sätt få en position, som dessutom kompletteras med trycksensorer för att få en noggrannare position i höjddled. Positionerna som mäts på detta sätt är först och främst inom det egna koordinatsystemet, vilket skapas genom att transpondrarna identifierar varandra och mäter avstånden mellan sig. För att få detta i ett globalt koordinatsystem krävs att man mäter positionerna för transpondrarna med t.ex. GPS. Detta sker då transpondrarna sätts ut eller tas bort.

Systemet har fått sitt namn av att avståndet mellan transpondrarna är långt jämfört med undervattensobjektets avstånd till dem. Detta ger en ideal geometri för positionering och jämfört med övriga system som behandlas senare får man en betydligt högre noggrannhet.

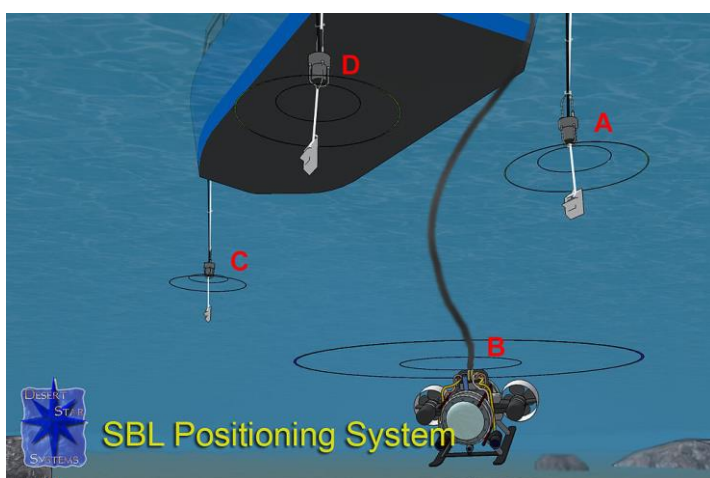
En version av denna metod är användningen av så kallade GPS Intelligent Buoy (GIB) systemet. Det innebär att transpondrarna är fästa i flytande bojar som är utrustade med GPS-mottagare. På detta sätt får man kontinuerligt koordinater direkt i ett geografiskt koordinatsystem. Bojarna kan antingen vara fästa i botten eller driva omkring. (Academy of Positioning Marine and Bathymetry, s 13-15, u.å.)



Figur 10 Long Baseline System (Wikipedia, 9.2.2015)

6.2 Short Baseline System

Short Baseline System (SBS) påminner väldigt mycket om Long Baseline System. Den största skillnaden är, som namnet säger, att avståndet mellan transpondrarna är kortare. Detta system används oftast direkt från ett fartyg som sänker ner transpondrarna. Positioneringen sker på samma sätt som i Long Baseline System, genom att undervattensobjektet sänder en akustisk signal och får svar av transpondrarna. På detta sätt kan man triangulera objektet och även här kompletteras positionen med hjälp av en tryckmätare.



Figur 11 Short Baseline System (Wikipedia, 12.2.2015)

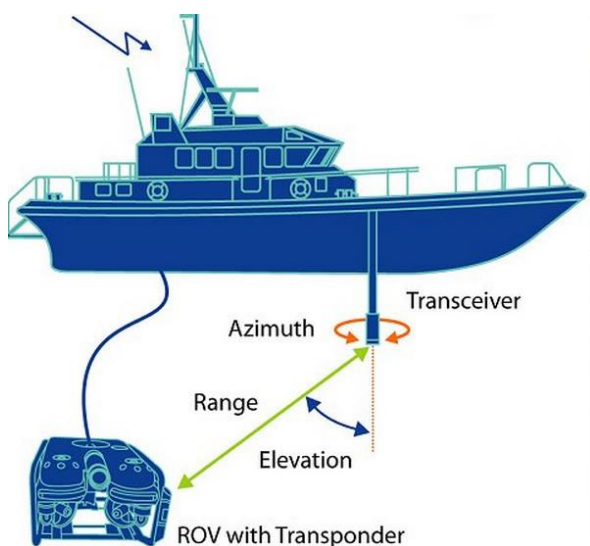
Noggrannheten som fås med den här metoden är i regel sämre än vid Long Baseline System. Detta beror på att avståndet mellan transpondrarna ofta är mindre än avståndet mellan en transponder och undervattensobjektet, vilket försvårar trianguleringen. Noggrannheten med det här systemet är ofta korrelerat med storleken på fartyget. Ett stort fartyg har möjlighet att skapa ett större ”arbetsområde”, med längre avstånd mellan transpondrarna, alltså bättre noggrannhet. Fartyget som mätningarna görs ifrån kan antingen ligga stilla eller röra på sig. Denna möjlighet till ett mobilt positioneringssystem är en fördel jämfört med Long Baseline System där transpondrarna är fast på havsbotten.

Positioneringssystemet är internt men om man behöver det i ett geografiskt koordinatsystem kan man sammankoppla det med mätbåtens navigeringssystem. (Academy of Positioning Marine and Bathymetry, s 21-24, u.å.)

6.3 Ultra Short Baseline System

Skillnaden mellan Ultra Short Baseline System (USBL) och de övriga systemen, är att man här endast använder sig av två transpondrar. Den ena är fäst under ett fartyg och den andra på undervattensobjektet. Transpondern på fartyget sänder en akustisk puls till undervattensobjektet, som lyssnar av och svarar med en egen puls. Positionen fås genom att en dator beräknar avståndet och bäringen till undervattensobjektet, som kan vara t.ex. en ROV eller towfish.

Transpondern på fartyget består av flera mottagare placerade på rad. Tidsskillnaden som uppstår mellan mottagarna beräknas med hjälp av fasförskjutning. Förenklat kan man säga att avstånden mellan mottagarna i transpondern, som oftast är under tio centimeter, är detta systems baslinjer. (Academy of Positioning Marine and Bathymetry, s. 19, u.å.)



Figur 12 Ultra Short Baseline System (Thien Nam Positioning, 13.2.2015)

7 Seismisk mätning

Seismisk mätning, eller ”sub-bottom profiling”, innebär att man med hjälp av penetrerande akustisk teknik undersöker bottenbeskaffenhet. Det finns olika motiveringar till varför man vill veta vad som finns i havsbotten. Till exempel vid letande efter olje- och naturgaskällor använder man sig av penetrerande utrustning, eftersom detta är en mera ekonomisk metod än att göra provborrningar. Olje- och gasföretagen använder delvis egen utrustning, men det finns även underentreprenörer som specialiserat sig på att söka dessa källor. (Appea, u.å.)

Tekniken kan även användas för att kartlägga bottensediment, alltså undersöka hurdana material botten består av och hur tjocka dessa lager är. Det här kan vara viktigt att veta då man till exempel studerar bottenorganismer och överlag bottenekologin. Bottensammansättningen är även relevant vid planeringen av till exempel undervattenskonstruktioner eller muddringar, samt vid eftersök av olika objekt, t.ex. ammunition, minor och undervattenskonstruktioner, såsom kablar och rör.

Beroende av användningsändamålet finns det olika tekniker och frekvenser att använda sig av. Faktorer som inverkar stort på metodval är bottenart, vilket ofta enbart kan uppskattas före påbörjad mätning, penetreringsdjupet och upplösningskravet. En tumregel som kan användas är: ju lägre frekvens desto bättre penetrering och ju högre frekvens desto bättre upplösning. (USGS, 2014c)



Figur 13 Seismiskt mätfartyg. Det som släpas efter är hydrofonerna som registrerar de reflekterade ljudvågorna. (Petroleum Geo – Services, 19.2.2015)

7.1 Magnetometer

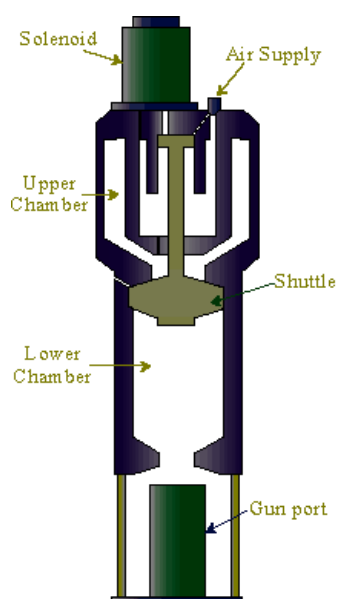
Magnetometrar är instrument som mäter skillnader i magnetfält. Magnetometrar har använts till olika ändamål sedan 50-talet. I undervattensapplikationer lämpar sig magnetometrar bra då man söker efter objekt av metall som är tillverkade av människan. Exempel på sådana objekt är minor, ammunition, kablar, rörledningar, skeppsvrak, ankare, kedjor och andra metalliska objekt. I eftersök fungerar magnetometern genom att registrera skillnader i jordens magnetfält som induceras av olika objekt och på så vis lokalisera objektet. Objektets permanenta magnetism, den inducerade magnetismen, om objektet är ihåligt t.ex. en cylinder ger utslag i samma storleksklass som en stav, samt objektets form, påverkar hur lätt det är att upptäcka.

De vanligaste magnetometrarna för undervattensapplikationer i dagens läge är högfrekventa cesium-magnetometrar. Orsaken till att man gärna har en hög observationsfrekvens är att man på så vis får en jämnare kurva som observation, istället för en ”spik” som kan tolkas som en störning.

Fördelarna med magnetometrar är att de är relativt billiga och klarar av att upptäcka objekt i svåra förhållanden. För ökad precision kan man använda flera magnetometrar bredvid varandra för att bedöma i vilken riktning från körlinjen ett objekt befinner sig, samt basstationer för att kartlägga lokala störningar i magnetfältet, för att kunna filtrera ut störningar som kan orsaka falska observationer. Användningen av magnetometrar begränsas av det eftersökta objektets magnetism, vilket ger den begränsad förmåga att skilja på jordarter. (Geometrics, u.å.)

7.2 Water Gun

Water Gun, eller vattenkanon, är en lågfrekvent metod som använder sig av tryckluft och en "vattenkula" vid mätningen. Frekvensen man använder sig av ligger mellan 20 – 1500 Hz. Vattenkanonen består av en övre kammare fylld av högtrycksluft och en nedre kammare fylld av vatten samt en kolv där emellan. Vid avfyring pressar högtrycksluften kolven nedåt, vilken i sin tur pressar vattnet ut ur vattenkammaren. Vattenskottet som avfyras skapar ett tomrum bakom sig och då detta tomrum fylls igen av vatten, uppstår en ljudvåg. Beroende på hur mycket man vill penetrera botten och hur bra upplösning man vill ha kan man justera frekvensen. Høgt lufttryck och små kamrar innebär en högre frekvens, som ger bra upplösning men mindre penetrering. Låg frekvens å sin sida fås med hjälp av lågt lufttryck och större kamrar. Detta innebär sämre upplösning men djupare penetrering. De reflekterade ljudvågorna lyssnas av med hjälp av hydrofoner som släpas efter mätfartyget. (USGS, 2014d)



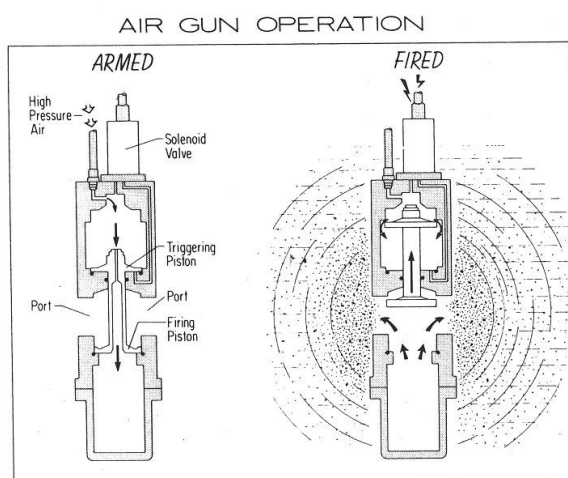
Figur 14 Ritning av en vattenkanon (U.S. Geological Survey, 19.2.2015)

Vattenkanonen lämpar sig för djup penetrering i hav och sjöar och man kan mäta upp till 2000 m ner i jordskorpan. Den släpas efter mätfarkosten och är relativt lätt att hantera. Den

kräver en luftkompressor ombord på fartyget, vilket kräver en hel del utrymme samt en strömkälla. (USGS, 2014d)

7.3 Air Gun

Air Gun, eller luftkanon, använder sig av tryckluft vid mätningen. Utrustningen består av en strömkälla, luftkompressor och tryckluftstankar ombord. Själva luftkanonen släpas efter fartyget och de reflekterade pulserna lyssnas av med hjälp av eftersläpande hydrofoner. Funktionen påminner en hel del om vattenkanonen, men istället för en luft- och en vattenkammare består luftkanonen av en kolv och två stycken luftkammrar. Kolven som finns mellan dessa kamrar öppnar vägen för luften att komma ut. Då detta sker uppstår en explosion och en ljudvåg bildas.



Figur 15 Principen för en laddad och avfyrad luftkanon (U.S. Geological Survey, 19.2.2015)

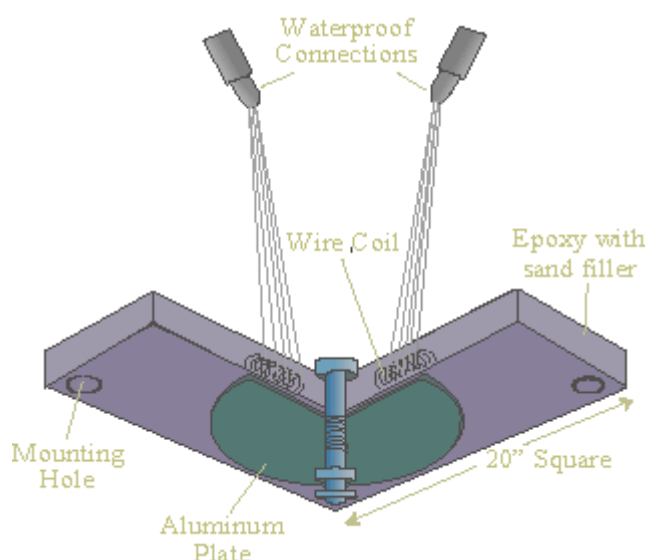
Likt vattenkanonen varierar man frekvensen genom olika storlekar på kamrarna och man brukar röra sig mellan 100 och 1200 Hz. Jämfört med vattenkanonen är luftkanonen att föredra då upplösningen inte är så viktig, utan man är ute efter en bra penetrering eftersom

den är effektivare på att producera lågfrekventa ljudvågor. Luftkanonen lämpar sig för operationer i söt- och brackvatten och man kan penetrera upp till 2000 ner i jordskorpan.

Man kan använda sig av en luftkanon på relativt grunda vattenområden. Minimidjupet är dock 10 meter och då fordras även att botten är mjuk. Vid hårda bottenar krävs mera vattendjup för att inte råka ut för ”multipath”-problem. (USGS, 2014e)

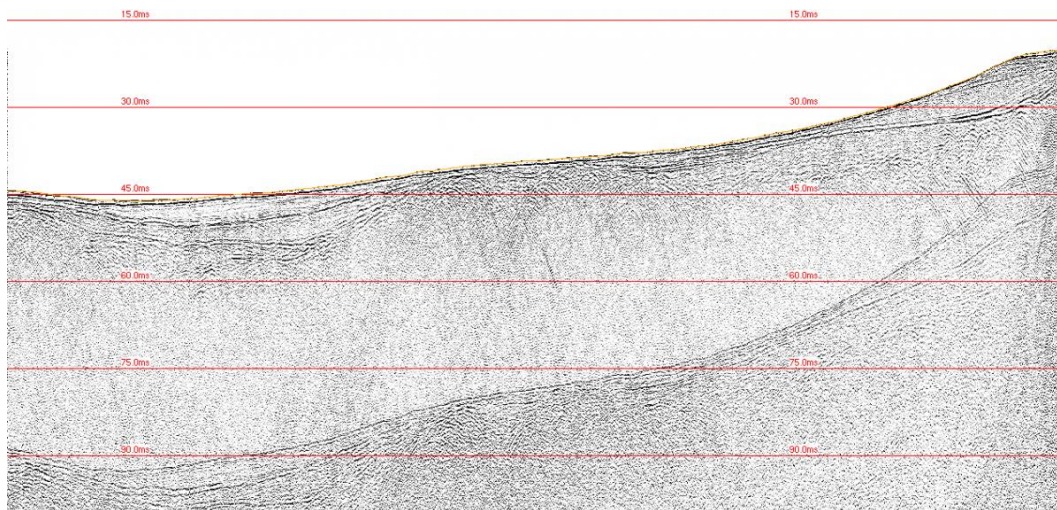
7.4 Boomer

Boomern består av en strömkälla, två aluminiumplattor och trådspolar. Systemet fungerar som så att man med strömkällan laddar plattorna så att de stöts ifrån varandra och därmed orsakar en akustisk puls. Även detta system släpas vanligtvis efter eller på sidan av mätfarkosten och man använder sig av frekvenser mellan 300 Hz och 3000 Hz. Beroende på bottenmaterialet rör sig penetrationsdjupet mellan 25 och 50 m, med en upplösning på 0,5 till 1 m.



Figur 16 Ritning av en boomer (U.S. Geological Survey, 19.2.2015)

En boomer används ofta tillsammans med ett annat system som har högre frekvens. Med detta vill man åstadkomma både hög upplösning och bra penetrering. Vid grunda vattenområden eller i väldigt hårda bottenar använder man mindre effekt för att undvika ”multipath”-problem. (USGS, 2014f)



Figur 17 Bottenprofil skapad med hjälp av en boomer (Applied Acoustics, 20.2.2015)

7.5 Sparker

Idén med en sparker är att man med hjälp av elektricitet skapar en akustisk ljudvåg. Själva instrumentet består av en jordstav och en stav med elektroder. Mellan dessa stavar bildas en ljusbåge som förångar vattnet mellan dem och den akustiska vågen uppstår då ångbubblorna kollapsar. Mediet som sparkern används i måste vara strömförande och därmed går den enbart att användas i saltvatten.

Sparkern använder sig av frekvenser mellan 50 Hz och 4000 Hz och kan penetrera flera hundra meter ner i sjöbotten. Även sparkern släpas efter mätfartyget och retursignalen registreras av eftersläpande hydrofoner. Systemet har den fördelen att man kan variera penetreringsförmågan och upplösningen genom att ändra kapacitansen och spänningen. Nackdelar är att det är svårt att rikta pulsen och svårt att skapa flera likadana pulser efter varandra. En annan begränsande faktor är att systemet endast går att använda i saltvatten. (USGS, 2014g)



Figur 18 Sparker i bruk (GEO Marine Survey Systems, 20.2.2015)

7.6 Pinger-system

Pinger-system är lågfrekventa ekolod för relativt grund penetration. Dessa system kan antingen använda sig av en eller flera frekvenser från 2 kHz och uppåt. Pinger-systemen använder sig av högre frekvenser än boomer, air gun och water gun. Man kan säga att pinger-systemen är föregångare till parametriska- och chirp-systemen. (Oemgglobal, 2009)

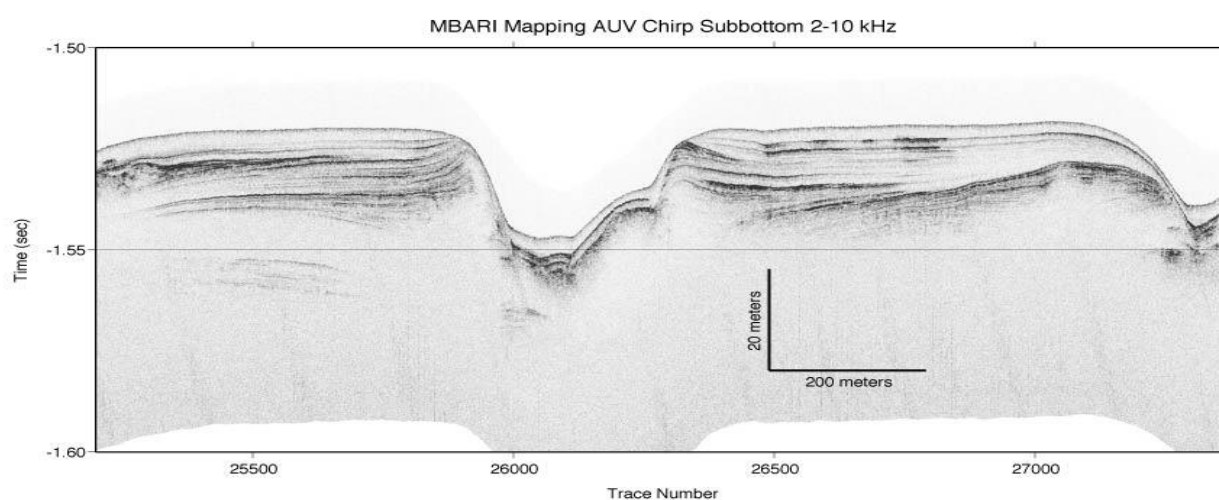
7.7 Parametriska system

Parametriska system sänder ut två frekvenser som är relativt nära varandra, t.ex. 100 och 110 kHz och utnyttjar underfrekvenser som bildas på grund av interferens. Detta görs för att få en lägre frekvens och således högre penetration. (Missiaen, T. 2010)

7.8 Chirp-system

Chirp-systemet skapar en så kallad ”svepande” signal, vilket innebär att signalen sänds under en viss tid med en avtagande frekvens och amplitud. Detta innebär att man kan åstadkomma en detaljerad och högupplöst information om havsbotten.

Penetreringsdjupet för chirp-system ligger mellan 3 – 200 m beroende på bottenmaterialet. Frekvenserna som används varierar beroende av tillverkare och man rör sig från 0,5 kHz ända upp till 200 kHz. Upplösningen för systemet ligger mellan 4 och 40 cm.



Figur 19 Bottenprofil skapad med chirp (MB System, 24.2.2015)

En stor fördel med detta system är att man har möjlighet att variera frekvensen beroende av botten typ, penetrerings- och upplösningsbehov. En nackdel med chirp-systemet är att penetreringsförmågan är rätt så begränsad. (USGS, 2014h)

8 Sub-bottom profilers

För att hitta ett lämpligt system bör det uppfylla följande villkor: utrustningen bör gå att hantera på den befintliga mätbåten, en Silver Eagle 630, eller motsvarande. Detta innebär begränsningar angående systemens storlek och vikt. Dessutom är storleken av kraftverk och kompressor, samt annan kringutrustning också begränsade p.g.a. farkostens storlek.

Detta utesluter många vanliga modeller av air gun, water gun och boomer typ. Vidare uteslöts sparkeralternativen p.g.a. att den primära marknaden är i bräckvatten, samt potentiella sötvattensapplikationer. Dessutom filtrerar den tänkta användningsmiljön och den tilltänkta uppgiften också ut flera system. Kvar är några chirp- och pinger-system, samt kompakta boomer-system med låg strömförbrukning.

8.1 Innomar

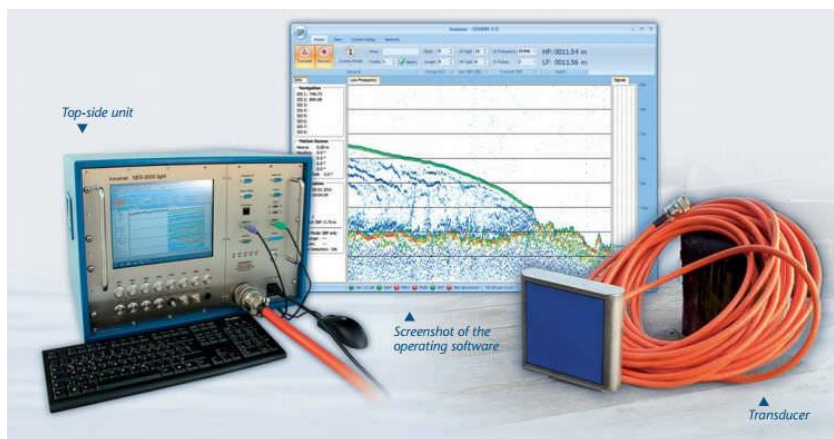
Innomar Technologie GmbH grundades 1997 och har specialiserat sig på att utveckla och tillverka akustisk undervattensutrustning samt mjukvara. Företaget är stationerat i Rostock, Tyskland och deras viktigaste produkt är deras SES-2000 serie, som innehåller sub-bottom profilers för olika användningsändamål. (Innomar Technologie GmbH, u.å.)

För vår uppdragsgivares användningsändamål har vi hittat två lämpliga alternativ: SES-2000 compact och SES-2000 light. Båda kan operera på vattendjup mellan 0.5 – 400 m och med ett frekvensintervall på 2 – 22 kHz har de en penetrationsförmåga på upp till 40 m, beroende av bottensedimentet. Dessa två skulle vara lämpliga eftersom båda är ämnade för mätning på grunda vatten med hög upplösning. De passar även eftersom de är mobila och lämpliga att montera på små båtar.



Figur 20 Innomar SES-2000 compact (Innomar, 1.4.2015)

För att få mera uppgifter om systemen kontaktade vi Sabine Mueller på Innomar med ett mail den 1.4.2015 där vi begärde mera information om systemen. Mueller delade vår åsikt att dessa två är de lämpligaste alternativen för vår uppdragsgivares behov. Bägge systemen används flitigt för bestämmande av muddringsmassor och båda går att fästa på en påle vid sidan av mätbåten. Båda systemen är även kompatibla med IMU 108 systemet, som används på Oy Mapteam Ab. De största skillnaderna mellan systemen är att SES-2000 compact är enklare att transportera, medan light erbjuder lite bättre noggrannhet. Light-systemet har en integrerad processdator, medan man till compact-systemet bör ha en skild dator. På förfrågan meddelade Mueller att priset för light-systemet är 60 000 € samt 54 000 € för compact-systemet. Att hyra kostar 500 respektive 400 € per dag. (Innomar Technologie GmbH, 2015)



Figur 21 Innomar SES-2000 light (Innomar, 1.4.2015)

8.2 Applied Acoustics

Applied Acoustics erbjuder modulär lågfrekvenshårdvara för att anpassa sig till det aktuella uppdraget (Applied Acoustics, u.å.a.). Den systemkombination som skulle kunna vara aktuell för lågfrekvensdelen skulle vara en CAT100-katamaran med en AA251 boomer plate (Applied Acoustics, u.å.b.) och antingen en CSP-L eller CSP-P strömkälla (Applied Acoustics, u.å.c.). Hydrofoner i olika utföranden finns under namnet Streamer. För lagringen av data behövs ett skilt system. (Applied Acoustics, u.å.d).

8.3 Meridata

Oy Meridata Finland Ltd är ett privatägt, finländskt företag som planerar och tillverkar helhetslösningar för marina mätningar. Företaget grundades 1977 och har sitt huvudkontor i Lojo, Finland. Meridata har ett eget mätfartyg ämnat för produktpresentation och utbildning. Till kunderna hör privata och statliga organisationer över hela världen. Till exempel Finlands miljöcentrals forskningsfartyg Aranda använder Meridatas utrustning. (Oy Meridata Finland Ltd, 2015a)



Figur 22 Forskningsfartyget Aranda (SMHI, 9.4.2015)

I ett mail skickat den 1.4.2015 där vi beskrev vårt slutarbete, samt frågade efter information om deras produkter, fick vi som svar en beskrivning av deras Meridata HD Sub-bottom Profiler. Systemet använder chirp-teknik för att uppnå bra upplösning och vid

behov ett kompletterande lågfrekvenssystem med hjälp av en boomer eller sparker. Chirp-systemet består av tre olika svängare med en sammanlagd frekvensbredd på 2-50 kHz. För Oy Mapteam Ab:s användningsändamål föreslog Meridata en lösning med en eller två chirp-svängare, samt ett kompletterande system under 2 kHz för bättre penetration. (Oy Meridata Finland Ltd, 2015b)

8.4 Kongsberg

Kongsberg Gruppen grundades 1914 under namnet Kongsberg Våpenfabrikk. Idag har företaget verksamhet i över 25 länder med teknologiska lösningar inom sjöfart, försvar och olje- och gasindustrin. (Kongsberg Gruppen, 2014) Oy Mapteam Ab använder Kongsbergs GeoSwath Plus-ekolod för batymetriska mätningar, så tillverkaren är bekant sedan tidigare.

Hos Kongsberg Maritim har vi hittat ett system som skulle kunna fungera för uppdragsgivaren, nämligen GeoPulse Plus. Geo Pulse Plus kombinerar pinger- och chirp-systemen och har en frekvensvidd på 1,5 – 18 kHz. Systemet erbjuder tre monteringsalternativ: i skrovet, sidomontering med påle eller eftersläpande i en s.k. tow fish. Retursignalen fångas upp av eftersläpande hydrofoner. (Kongsberg Gruppen, u.å.)



Figur 23 Kongsberg GeoPulse Plus (Kongsberg, 5.4.2015)

8.5 Mjukvaror

Mjukvaror för hanterandet av mätdata finns i många olika former av olika tillverkare. Beroende på vad man vill producera kan en eller flera olika program användas. Mjukvarorna delas vanligtvis in i aquisition- och post-processing- mjukvaror, där den första är ett program för datainhämtning och lagring. Man kan även i detta skede tillämpa olika filter för att förtydliga mätdata.

Post-processing- mjukvaror hanterar och manipulerar mätdata med olika filter och beräkningsmodeller för ökad precision och tillförlitlighet. Det är med hjälp av den här typen av mjukvaror som själva produkten färdigställs.

En effektiv programmiljö medför inbesparingar i tidsåtgången för att färdigställa slutprodukten. Något som nyare mjukvara kan vara bättre på. (CodaOctopus, 2012)

8.5.1 Seg-y

Seg-y är en öppen standard utvecklad av Society of Exploration Geophysicists. Med tiden har formatet utvecklats för att anpassas till dagens utrustning. Dataformatet härstammar

från tiden med datalagring med magnetband och innehåller än idag vissa kvarlevor från den tiden. (Society of Exploration Geophysicists, u.å.)

8.5.2 Sonar wiz

Sonar wiz 5 är en helhetsmjukvarulösning för olika batymetriska mätningar. Paketet innehåller stöd för side-scan, bottenklassificering, möjlighet för anpassning av användargränssnitt och automatisk förändringsdetektering. Sonar wiz 5 är utvecklat för att strömlinjeforma arbetsflödet för ökad produktivitet.

Mjukvaran innehåller också planeringsverktyg med tidsberäkning samt körlinjeplanering med export till gis- och cad-applikationer. Dessutom finns körlinjer med sidointikator för att underlätta arbetet för rorsman. Mjukvaran stöder de flesta hårdvarutillverkare. Sonar wiz 5 innehåller verktyg för rapportering och har ett brett utbud av exportformat. (Chesapeake Technology Inc, 2015)

8.5.3 CodaOctopus

CodaOctopus har två mjukvarupaket, varav båda är relativt mångsidiga, stöder de flesta vanliga format och är kompatibelt med de flesta tillverkares hårdvara. Seismic + och Seismic + SP, där den senare är en mera kompakt version. (CodaOctopus, u.å.a.)

CodaOctopus har också en aquisition-enhet för själva sparande av data, DA4G som är kompatibel med flera olika hårdvaror. (CodaOctopus, u.å.b.)

8.5.4 Hypack

Hypack har en modullösning med deras programvara Hypack och Hysweep. Detta system erbjuder en mångsidig lösning för hanterande av olika sorters batymetrisk data. Systemet erbjuder mycket flexibilitet med volymhantering och olika verktyg för databeräkning, processering samt presentation. (Hypack Inc, u.å.)

8.5.5 Triton

Modulär mjukvara som erbjuder processering och integration med multibeam och side-scan. Tritons mjukvarupaket stöder de flesta tillverkares hårdvara för både insamling och processering enligt följande tabell.

Sub-bottom Profilers

Manufacturer	Aquisition	Conversion	Processing
<u>Applied Acoustics</u>	yes	--	yes
<u>Edgetech</u>	yes	JSF	yes
<u>Benthos</u>	yes	--	yes
<u>Klein</u>	yes	--	yes
<u>Kongsberg</u>	no	some	yes
<u>Knudsen</u>	no	--	yes
<u>Innomar</u>	no	--	yes
<u>Sygwest</u>	no	--	yes
<u>SIG France</u>	yes	--	yes
all sparker/boomer systems	yes	--	yes

(Triton Imaging Inc, u.å.)

8.6 Slutsats

På basen av mailkorrespondens med Meridata och Innomar, samt diskussioner med Oy Mapteam Ab kunde det konstateras att moränbottnarna i områden där Oy Mapteam Ab arbetar är av en utmanande sort. Den ifrågavarande jordarten begränsar starkt penetrationen av högfrekventa penetrerande ekolod.

Den tilltänkta uppgiften för de penetrerande ekoloden är primärt för volymberäkning för muddringsindustrin, vilket förutsätter hög precision för att få relevanta resultat. Vidare är skillnaden mellan berg och mjuklager viktig eftersom sprängning och borrhning av berg innebär högre kostnader och annan utrustning. Systemen med lägre frekvens är bättre lämpade för denna uppgift. Därför är denna information också av hög prioritet, medan precisionen fortfarande spelar en stor roll p.g.a. volymberäkningar.

På grund av att problemet består av flera delar, är lösningen enligt vår mening ett system eller flera system som utnyttjar fördelarna av både lågfrekventa och högfrekventa lösningar. För att precisera behövs ett system med stor flexibilitet och på basen av detta skulle ett chirp-system med sin högre upplösning samt flexibel bandbredd vara en del av denna lösning.

För att klara av den andra lågfrekventa delen behövs det ytterligare ett system för lägre frekvenser, förslagsvis en boomer av kompakt modell. Angående mjukvara är det av stor vikt att man klarar av att hantera mätdata effektivt. Valet av program påverkas av den hårdvara man använder och av hur smidigt programmet är att använda.

Priset på systemen är förstås en avgörande faktor som vi tyvärr inte kunnat ta i beaktande på grund av att tillverkarna varit sparsamma angående denna information. Några tillverkare har meddelat prisuppgifter och en tillverkare har räknat på en hyresoffert, detta har bidragit till att ge en generell uppfattning angående kostnader.

En lösning skulle vara att skaffa en mjukvaruplattform. I sådana fall skulle det vara skäl att närmare bekanta sig med de olika programmen med hjälp av demoversioner och testdata. Här finns det många lösningar och man kan även uppnå fördelar, eftersom de flesta mjukvaror stöder ett brett utbud av olika ekolod, samt innehåller verktyg för framställandet av varierande produkter, som skulle kunna användas med Oy Mapteam Ab:s befintliga utrustning. Samtliga mjukvaror som presenterats i detta arbete borde kunna utföra den

tilltänkta uppgiften. Möjligtvis skulle det vara ändamålsenligt med Seismic + av CodaOctopus om man vill använda deras aquisition-hårdvara.

Som nästa del skulle man behöva ett chirp-system, en pinger med variabel frekvens eller en parametrisk sub-bottom profiler. Som alternativ skulle man t.ex. kunna tänka sig SES-2000 light från Innomar eller Seaking SBP från Tritech.

Som lågfrekvenskomponent skulle exempelvis en CAT100-katamaran med en AA251 boomer plate från Applied acoustics kunna vara lämplig. Till detta skulle man behöva antingen en CSP-L eller CSP-P strömkälla, samt deras streamer-hydrofon och bogseringskablar till de båda komponenterna.

Det som behöver närmare undersökning i detta alternativ är själva kopplandet av lågfrekvens- och högfrekvens-systemen till varandra. Möjligtvis behöver man ett aquisition-system, t.ex. DA4G från CodaOctopus kunde vara ett alternativ.

Sammanfattningsvis skulle vi rekommendera att man vid ett potentiellt projekt, alternativt i utbildningssyfte, skulle kontakta Meridata för att hyra utrustningen och på samma gång få utbildning i användandet samt hjälp med installation av utrustning. Orsaken till att vi anser att Meridata lämpar sig väl, är att man på så vis får en helhetslösning och inte behöver pussla ihop ett paket av flera system från olika tillverkare.

Detta borde ge en effektivare inkörning av systemet och arbetsmetoderna. Dessutom tror vi att Meridata som lokal aktör har en större kännedom om problemen orsakade av de lokala jordarterna. Som slutgiltigt mål skulle man anskaffa ett chirp-system med mjukvara och vid behov hyra en boomer för högre penetration i besvärliga jordarter, enligt Meridatas förslag.

För att uppnå den högsta upplösningen bör man utföra borrhöjningar för att kalibrera mätdata, då ljudets hastighet i de olika jordlagren endast är uppskattningar. Vidare kan man, med hjälp av sub-bottom-mätningar, göra en effektiv borrhöjningsplan för provborrningar.

För en jämförelse av de olika systemen se Bilaga 1.

9 Undervattensscanning

Undervattens 3D-scanning påminner på många sätt om 3D-laserscanning på land. Till skillnad från terresterlaser-scanning finns det några väsentliga skillnader på grund av att mätningarna utförs under vattnet.

Den första skillnaden är att vattnet absorberar ljus på ett helt annat sätt än luft, vilket gör att laserbaserade instrument får en begränsad räckvidd. Dessutom kan grumligt vatten göra lasermätningar så gott som ogenomförbara, dock har dessa instrument en fördel vad gäller upplösning. (Gillham Jason - 2G Robotics Inc, 2011)

För att få längre räckvidd använder man sig av akustiska instrument av olika konstruktion. Den lösning som påminner mest om laserscannern, är en single beam-lösning som roterar enligt samma princip som laserscannern och mäter en punkt åt gången. En annan lösning är att använda en multibeam-baserad lösning som roterar och ger ett vertikalt svep per ping. (Teledyne BlueView, 2014) Den tredje typen av scanner ger en hel volym per ping. Denna lösning kan jämföras med att man för varje ping har flera vertikala och horisontala multibeam-skivor och på så vis kan mäta hela volymen på en gång. (CodaOctopus, 2015)

Punktmolnen kan också integreras med andra datakällor, t.ex. digitala terrängmodeller, andra punktmoln osv. Precis som med vanliga ekolod bör man kompensera för ljudets hastighet i vattnet på stället där man scannar. Beroende på förhållandena i området kan mätningen påverkas. Faktorer som inverkar på mätningen kan vara grumlighet, salthalt, temperatur, luftbubblor, fiskstim och akustiska störningskällor. Efter att man samlat in och processerat data, kan man slutbehandla de resulterande punktmolnen med olika mjukvaror. I de flesta fall kan man använda samma mjukvara som används för att behandla terresterlaserdata t.ex. Leica Cyclone.

Beroende på utrustning och undersökningsobjekt kan man placera scannern på botten på ett stativ eller så kan scannern monteras på en ROV. Ett tredje alternativ är att montera givaren på ett fartyg eller på en påle på en båt.

Installationen bör väljas enligt vad man har tänkt använda utrustningen till eftersom de olika installationerna har olika fördelar och nackdelar. Stativlösningen lämpar sig då man vill komma åt objekt som är belägna på större vattendjup eller t.ex. för att se under objekt

som kajer och andra konstruktioner. Denna metod begränsas av att man måste placera stativet med kran eller dykare. (Teledyne BlueView, 2014)

ROV installationen kan, beroende på utrustning, parkeras på sjöbotten vid olika punkter och har fördelen att kunna flytta sig för egen maskin och på så sätt agera som ett flytbart stativ. ROV:ens största fördel är att den kan flytta sig själv för att nå besvärliga platser. Med en mera avancerad 3D-scanner kan man t.o.m. utföra mätningar i rörelse med gott resultat. Andra fördelar är att en ROV även har möjlighet att utföra olika uppgifter med hjälp av annan installerad utrustning, t.ex. visuell inspektion med kameror eller t.o.m. mekaniska uppdrag och provtagning med griparmar. Nackdelen är att ett ROV-system kan vara en dyr investering och kräva kringutrustning. (Tritech, 2015a)

Fartygs- och båtinstallationerna har fördelen att de relativt enkelt kan utnyttja fartygets positionering för ökad mätnoggrannhet och georeferering, medan de begränsande faktorerna utgörs av samma faktorer som vid t.ex. multibeam-mätning och därutöver även att givaren är nära ytan och möjligtvis inte ”ser” undersidan av objekt så bra. Navigering i trånga vattenområden med ström och hinder kan vara utmanande för farkosten. (CodaOctopus, 2015)

9.1 BlueView

Teledyne BlueView grundades 2005 och tillverkar utrustning för undervattensnavigering och – mätning. Över 500 BlueView-system har installerats runtom i världen på fartyg, ROVar, AUV:n och fasta plattformar.

Hos BlueView hittade vi två stycken undervattensscannrar, som kunde vara av intresse för vår uppdragsgivare, nämligen BV5000-1350 och BV5000-2250. Den största skillnaden mellan de två systemen är att BV5000-1350 använder sig av en vågfrekvens på 1,35 MHz, medan BV5000-2250 använder 2,25 MHz. Detta innebär att -2250 modellen ger en bättre upplösning och har ett optimalt mätavstånd på 0,5 – 7 meter. 1350 modellen å sin sida har en sämre upplösning med ett längre optimalt mätavstånd på 1 – 20 meter. Efter diskussion med Oy Mapteam Ab konstaterades att den lågfrekventa modellen skulle passa bättre för deras användning.

Scannern kan installeras på en ROV eller stå på en tripod på havsbotten. Rent praktiskt fungerar scannern som ett multibeam-ekolod och scannar en vertikal ”skiva”, roterar och scannar nästa ”skiva”. Beroende på arbetets art kan man scanna 360 grader eller bara en bestämd sektor och tiden för en scanning är 1 – 18 minuter, beroende på inställningarna. Man kan via en dator följa med hur scanningen framskrider i realtid, men 3D-data är tillgängligt först då scanningen är färdig.



Figur 24 BV5000 på en tripod (Marine Technology News, 8.4.2015)

Scanningen kan positioneras direkt om scannerns position är känd, eller i efterhand med hjälp av överlappande områden och gemensamma referensobjekt. Med 1,35 MHz modellen kan man nå en noggrannhet på 3 – 5 centimeter inom 20 meter. (Teledyne BlueView, 2014) Vi har skickat en förfrågan till BlueView om mera information och prisuppgifter men har inte fått något svar.

9.2 CodaOctopus

Echoscope av CodaOctopus är en 3D-scanner som scannar ett 50x50 graders område på en gång, istället för att mäta smala segment åt gången. För att få ett heltäckande punktmoln måste man antingen rotera scannern med en pan/tilt-ställning, eller ha den monterad på ett fartyg och använda den som ett multibeam ekolod. Även i fartygskonfigurationen lönar det sig att ha en pan/tilt-ställning för att kunna komma åt olika vinklar för att se objekt bättre.

Fördelen med Echoscope är att man får ett tätt överlappande punktmoln då man scannar av ett helt område på en gång, istället för att göra det en grad åt gången.

Echoscope scannar ett 50x50 graders område på en gång, med en uppdateringsfrekvens på 12 Hz. Utrustningen uppfyller också IHO S44-special order. IHO S44-special order är en internationell standard för noggrannhet inom sjömätningar.

Echoscope finns i två alternativ med antingen enkel frekvens (375 kHz) eller dubbel frekvens (375 kHz och 610 kHz). Utrustningen är djupklassad till 3000m. Företaget erbjuder mjukvarupaket för många olika applikationer. (CodaOctopus, u.å.c.)



Figur 25 CodaOctopus Echoscope (Subsea World News, 14.4.2015)

9.2.1 Möte med CodaOctopus

Den första kontakten som skapades med tillverkaren CodaOctopus var genom ett mail till deras kontor i Edinburgh, Skottland. I mailet presenterade vi oss och berättade hurudant projekt vi håller på med och beskrev också uppdragsgivaren kortfattat. Vi berättade att vi hade bekantat oss med deras Echoscope-scanner och begärde lite tilläggsuppgifter om den, främst gällande priset. Mailet sändes onsdagen den 18.3.2015.

Trots misstankar om att ett svar, om det överhuvudtaget skulle komma, skulle dröja länge fick vi mail från CodaOctopus redan samma dag. Man ville hålla ett virtuellt möte för att kunna presentera sig. Eftersom det var i allas intressen att även representanter från Oy Mapteam Ab kunde närvara slog vi efter en stunds planerande fast att mötet skulle hållas torsdagen den 19.3.2015 kl. 11.00 finsk tid.

Tjänsten som användes för att genomföra mötet var GoToMeeting som är en internetbaserad mötestjänst som möjliggör deltagande i möten från hela världen. Det enda som behövs är en dator, eller annan kompatibel plattform, samt en inbjudan av mötesvärderna för att kunna delta. Via mötestjänsten kan man se och höra varandra och man kan även dela sina skärmbilder med övriga mötesdeltagare.

I vårt fall bestämde vi oss för att alla mötesdeltagare skulle samlas på samma ställe, på Oy Mapteam Ab:s kontor i Vasa. Vi samlades en timme på förhand för att ställa i ordning tekniken och fundera på eventuella frågor vi hade åt CodaOctopus. Vi använde oss av två bärbara datorer; en för bild och en för ljud. Datorn som användes för bildöverföringen kopplades till en videokanon och ställdes på ett sådant ställe i rummet, att alla deltagare syntes från dess webkamera. Till den andra datorn kopplades högtalare som hördes i hela rummet och den ställdes i mitten, så att alla deltagare kunde höras via dess mikrofon. Att använda sig av två datorer visade sig i efterhand vara ett klokt beslut, eftersom datorn som överförde bilderna fick en blackout och stängdes av mitt under mötet. Eftersom den andra datorn fortfarande var igång kunde man berätta åt CodaOctopus representanter vad som hände och fortsätta diskussionen tills man fick bilderna tillbaka, vilket inte hade varit möjligt om man använt endast en dator.

I själva mötet deltog skribenterna Axel Sahlström och Mikael Sundqvist, Oy Mapteam Ab:s representanter Thomas Storm och Thommy Åbacka och från CodaOctopus Richard Adams och Iain Hastings, försäljningsdirektör respektive försäljningschef. Mötet inleddes

med en kort presentation från bägge håll och efter det presenterade CodaOctopus sin Echoscope 3D-scanner. Man använde sig av en Powerpoint-presentation samt visade videoklipp, samtidigt som man berättade om produkten. Det var en tillgång att ha Storm och Åbacka, som bägge är specialiserade på sjömätning, närvarande eftersom de hade goda bakgrundskunskaper om tekniken och kunde komma med relevanta frågor till tillverkaren.

På basen av mötet beräknades en offert för hyrning av utrustningen. Detta på grund av att man konstaterade att Oy Mapteam Ab på detta sätt skulle få en mera realistisk chans att utvärdera Echoscope för den tilltänkta uppgiften, utan att investera stora summor på inköp av utrustning.

9.3 Tritech

Tritech International Limited grundades 1991 och tillverkar undervattensutrustning för bland annat offshoreindustrin och försvaret. Företaget tillverkar sina produkter främst för ROV- och AUV användning. (Tritech, 2015a)

Den 24.3.2015 skickade vi en förfrågan till Tritech och begärde mera information om deras undervattensscanner Eclipse. Efter cirka två veckor fick vi svar av Richard Smith som bifogade information, förutom om Eclipse, även om deras sub-bottom profiler, side-scan sonar och roterande single beam. Enligt Smith har både deras side-scan sonar och roterande single beam använts vid inspektioner av brofundament och kajer. (Tritech, 2015b)

Tritechs 3D-scanner heter Eclipse och använder sig av en frekvens på 240 kHz. Den är främst ämnad för ROV- och AUV-användning, men går även att montera på fartyg. På undervattensfarkoster klarar den av att operera ända ner till 1000 meters djup.



Figur 26 Tritech Eclipse (Tritech, 10.4.2015)

Scannern kan antingen använda 2D- eller 3D-inställningar. 2D används för att iaktta och kunna undvika hinder vid ROV-användning. Beroende på situationen kan man avgöra om upplösning eller avstånd är viktigast och man kan nå ett maxavstånd på 120 m, dock med sämre upplösning. Vid en 3D-scanning använder sig Eclipse av 256 strålar och kan, beroende på inställningarna, scanna ett område på 120° (horisontalt) och 45° (vertikalt) på under en sekund. (Tritech, u.å.)

9.4 Kongsberg

Kongsberg erbjuder utrustning för undervattensscanning genom sin Mesotech scanning sonar. Denna scanner påminner mest om en terresterlaserscanner, då den använder singel beam-ekolodningsteknologi och roterar för att snabbt täcka in ett stort område med enskilda mätningar per ping. (Kongsberg Gruppen, 2011)

Vi kontaktade Kongsberg för att få mera uppgifter om produkten men har inte fått något svar.

9.5 Mjukvara

För mera avancerad datahantering kan tredjepartsmjukvara användas, en kommersiell mjukvara som Leica Cyclone är ett exempel på sådan mjukvara. Beroende på vad man vill uppnå med scannerdata kan det krävas olika program. (Teledyne BlueView, 2014)

9.6 Slutsats/resultat

Gemensamt för de olika scannrarna är att de är jämförbara i vikt och strömförbrukning. Vikten ligger på ca 20 kg i luften för själva scannern och en strömförbrukning på 40-60W med ca 24V, vilket inte är så begränsande ifråga om olika mobiliseringsalternativ.

BlueView hade en demoversion av sin mjukvara (Quick Stitch) samt exempeldata att tillgå, så vi kunde bekanta oss ytligt med dess funktion. (Teledyne BlueView, u.å.) På basen av exempeldata var upplösningen inte vad uppdragsgivaren hade förväntat sig.

På basen av tillgänglig information skulle, enligt vår mening, den vettigaste lösningen vara att hitta ett projekt där Oy Mapteam Ab skulle hyra Echoscope och på så vis utvärdera om utrustningen skulle ge mervärde i Oy Mapteam Ab:s verksamhetsmodell. Detta skulle också innefatta träning i användande av 3D-punktmolndata, vilket är användbart vid terresterlaserscanning.

För en jämförelse av de olika scannrarna se Bilaga 2.

10 Diskussion

Detta arbete innebar undersökning av olika tillverkare av utrustning. Angående sub-bottom profilers har en väldigt stor del av tiden gått åt till att läsa specifikationer för olika system, för att hitta alternativ som skulle kunna vara aktuella för uppdragsgivaren. Orsaken till detta är att största delen av systemen vanligtvis används av större farkoster och på djupare vatten.

Något som vi saknat i arbetet är själva tolkandet av sub-bottom-data, vilket enligt oss skulle kräva tilläggsutbildning av mjukvarutillverkaren eller motsvarande. Detta är dock inte realistiskt inom ramen för detta slutarbete.

Vidare har många sidospår dykt upp och trots att det skulle ha varit intressant att granska dessa närmare, har vi begränsat oss till områdena ovan. Man skulle kunna granska samtliga system närmare och jämföra prestandan på dessa, men detta kan inte anses realistiskt inom ramarna för detta arbete och skulle kunna vara basen för ett slutarbete skilt för sig. Ett sådant kunde kanske genomföras i samarbete med en tillverkare, vi blev t.ex. tipsade om ett projekt för studerande med Innomar som skulle innefatta fältarbete. Detta projekt har visserligen redan börjat, men det är möjligt att motsvarande projekt dyker upp i framtiden.

Angående vidare forskning skulle det vara intressant att undersöka olika sätt att hantera mätdata med filter och triangulering för att skapa ytmodeller, något som antagligen är möjligt med existerande mjukvara men som vi inte haft möjlighet att sätta oss in i.

Inom ROV- och AUV-branscherna samt dess olika integrerade lösningar finns det också mycket intressant att forska om och möjligheterna växer hela tiden. Systemen är väldigt intressanta och skulle kunna tänkas utföra vissa av uppdragsgivarens uppdrag, ibland t.o.m. bättre än vad lösningarna som presenteras i detta arbete. Att börja med ROV- och AUV-verksamhet förutsätter dock investeringar samt i de flesta fall en mätfarkost av lite större modell.

Ett område som uppdragsgivaren visat intresse av är geologisk klassificering med hjälp av flera olika datatyper, något som redan är möjligt. Färdiga lösningar finns även att tillgå i form av bland annat GIS-lösningar för batymetrisk data, t.ex. Fledermaus från QUINSy. (QPS, u.å.) Tyvärr hade vi inte möjlighet att vidare fördjupa oss i detta område.

Angående inspektioner skulle man kunna bekanta sig närmare med laserbaserade scanningssystem samt avancerade side-scan-ekolod och olika kamerasystem. För att utnyttja dessa skulle det vara effektivast med någon typ av ROV-lösning, trots att både laserscanner och 360° scannande side-scan finns med stativlösning. Till exempel föreslås roterande side-scanliknande ekolod av Tritech, närmare bestämt SeaKing Hammerhead System. Detta system används bland annat med framgång av olika myndigheter vid eftersök av drunknade personer. (Tritech, 2015b)

En fördel som de flesta sub-bottom-mjukvaror har, är att de stöder magnetometrar. Detta innebär att man också kunde erbjuda sådana eftersökningstjänster genom att hyra in, alternativt skaffa, en magnetometer.

11 Källförteckning

Academy of Positioning Marine and Bathymetry, (u.å.). *Underwater acoustic positioning system* [Online]

http://www.hydro-international.com/download/whitepaper_uploadfile_9.pdf [hämtat 9.2.2015]

Anderson N & Alotaibi A.M., 2014. *Site Assessment using Echo Sounding, Side-Scan Sonar and Sub-bottom Profiling*. Missouri University of Science and Technology [Online]

http://ntl.bts.gov/lib/52000/52700/52710/R338_Final_Report.pdf [hämtat: 23.4.2015]

Appea, (u.å.). [Online]

<http://www.seismicsurvey.com.au/> [hämtat: 16.2.2015]

Applied Acoustics, (u.å.a.). *Sub-bottom Profiling* [Online]

<http://www.appliedacoustics.com/sub-bottom-profiling> [hämtat: 20.4.2015]

Applied Acoustics, (u.å.b.). *Sound Source, Boomers* [Online]

<http://www.appliedacoustics.com/sub-bottom-profiling/sound-source-boomers> [hämtat: 20.4.2015]

Applied Acoustics, (u.å.c.). *Energy Sources, CSP Units* [Online]

<http://www.appliedacoustics.com/sub-bottom-profiling/energy-sources-csp-units> [hämtat: 20.4.2015]

Applied Acoustics, (u.å.d.). *Hydrophones* [Online]

<http://www.appliedacoustics.com/sub-bottom-profiling/hydrophones> [hämtat: 20.4.2015]

Borg Björn, 2011. *Tidvatten och Oceanografi*, Stockholm, Jure Förlag AB

Chesapeake Technology Inc, 2015. *SonarWiz 5* [Online]

<http://www.chesapeakeotech.com/products/sonarWiz-5.php> [hämtat: 9.4.2015]

CodaOctopus, 2012. *Benefits of Utilising a State of the Art Software Product for Processing & Interpreting Seismic Shallow Water Data Sets* [Online]

http://www.codaoctopus.com/user-content/product_documents/Shallow%20Survey%202012%20Paper%20-%20Benefits%20of%20Utilising%20a%20State%20of%20the%20Art%20Software%20Product%20for%20Processing.pdf [hämtat: 8.4.2015]

CodaOctopus, (u.å.a.). *The most productive and intuitive tool for seismic data processing, interpretation and reporting* [Online]

http://www.codaoctopus.com/user-content/product_documents/GEO_Seismic%2B_Iss2_Apr13_Web.pdf [hämtat: 7.4.2015]

CodaOctopus, (u.å.b.). *Compact, rugged and reliable fourth generation of geophysical acquisition systems* [Online]

<http://www.codaoctopus.com/products/da4g> [hämtat: 8.4.2015]

CodaOctopus, (u.å.c.). *Echoscope is the world's highest definition real time 3D imaging sonar.* [Online]

<http://www.codaoctopus.com/products/echoscope> [hämtat: 20.3.2015]

CodaOctopus, 2015. Intervju med Richard Adams och Iain Hasting [19.3.2015]

Fraunhofer, 2010. *Underwater robots on course to the deep sea,* [Online]

<http://www.fraunhofer.de/en/press/research-news/2010/11/underwater-robots-on-course-to-the-deep-sea.html> [hämtat: 3.3.2015]

Geometrics, (u.å.). *Magnetic Search in the Marine Environment* [Online]

<ftp://geom.geometrics.com/pub/mag/Literature/MarineSearch.pdf> [hämtat: 16.4.2015]

Gillhan Jason -2G Robotics Inc, 2011. *Underwater Sonar and Laser Measuring. An Experimental Comparison* [Online]

https://www.oceanologyinternational.com/__novadocuments/18129?v=634886968973130000 [hämtat: 1.4.2015]

Gostnell Caleb, (u.å.). *Efficacy of an interferometric sonar for hydrographic surveying: Do interferometers warrant an in depth examination? A Preliminary study,* National Oceanic and Atmospheric Administration. [Online]

http://thsoa.org/hy05/08_4.pdf [hämtat: 4.1.2015]

Havukainen R., Lehto H., Leskinen J., Luoma T. & Waxlax J., 2009. *Fysik 3 Vågrörelse,* Helsingfors, Jonas Waxlax och Schildts Förlags Ab

Hypack Inc, (u.å.). [Online]

<http://www.hypack.com/new/Sales/Products/tabid/55/Default.aspx> [hämtat: 9.4.2014]

Innomar Technologie GmbH, (u.å.). *About INNOMAR* [Online]

<http://www.innomar.com/about.php> [hämtat: 1.4.2015]

Innomar Technologie GmbH, 2015. Mailkorrespondens med Sabine Mueller

Jönsson Göran, 1993. *Elementär våglära,* Malmö, Teach Support

Kankare, P. 2013. *Luotausmenetelmät ja -laitteet maailmalla.* Insinööritoimisto. Metropolia Ammatikorkeakoulu, Maanmittaustekniikan koulutusohjelma.

Kongsberg Gruppen, 2014. *In 2014 Kongsberg is celebrating 200 years* [Online]

<http://200.kongsberg.com/> [hämtat: 9.4.2015]

Kongsberg Gruppen, (u.å.). *GeoPuls Plus GeoAcoustics Universal Sub-Bottom-Profiler* [Online]

[http://www.km.kongsberg.com/ks/web/nokbg0397.nsf/AllWeb/D71799891FFFFDA4BC125797B004594E9/\\$file/GeoAcoustics-GeoPulse-Plus-data-sheet.pdf?OpenElement](http://www.km.kongsberg.com/ks/web/nokbg0397.nsf/AllWeb/D71799891FFFFDA4BC125797B004594E9/$file/GeoAcoustics-GeoPulse-Plus-data-sheet.pdf?OpenElement) [hämtat: 9.4.2015]

Kongsberg Gruppen, 2011. *KONGSBERG Unveils 3D Sonar Profiling Capability with New MS 1000 Software* [Online]

<http://www.km.kongsberg.com/ks/web/nokbg0238.nsf/AllWeb/13A078356156AD36C12579430042F959?OpenDocument> [hämtat: 10.4.2015]

Marine Technology Society, (u.å.). *WHAT IS AN ROV?* [Online]

http://www.rov.org/rov_overview.cfm [hämtat: 13.3.2015]

Missiaen, T. 2010. *The potential of seismic imaging in marine archaeological site investigations*. *Relicta* 6 [Online]

<http://splashcos.org/sites/splashcos.org/files/5%20Parametric%20echosounder.pdf> [hämtat: 21.4.2015]

National Oceanic and Atmospheric Administration, (u.å.a.). *What is sonar?* [Online]

<http://oceanservice.noaa.gov/facts/sonar.html> [hämtat: 8.2.2015]

National Oceanic and Atmospheric Administration, (u.å.b.). *Multibeam Echo Sounders* [Online]

<http://www.nauticalcharts.noaa.gov/hsd/multibeam.html> [hämtat: 16.12.2014]

National Oceanic and Atmospheric Administration, (u.å.c.). *Side Scan Sonar* [Online]

<http://www.nauticalcharts.noaa.gov/hsd/SSS.html> [hämtat: 13.1.2015]

National Oceanic and Atmospheric Administration, (u.å.d.). *Alvin* [Online]

<http://oceanexplorer.noaa.gov/technology/subs/alvin/alvin.html> [hämtat: 12.3.2015]

National Oceanic and Atmospheric Administration, 2015. *What is the difference between an AUV and a ROV?* [Online]

<http://oceanservice.noaa.gov/facts/auv-rov.html>

Nyby, T. & Åbacka, T., 2010. *Marknadsundersökning och behovsanalys för anskaffning av ekolodningssystem*. Vasa: Examensarbete för ingenjör (YH)-examen. Yrkeshögskolan Novia, utbildningsprogrammet för lantmäteriteknik.

Oceanic Imaging Consultants, 2013. *Brief History of Sonar Development* [Online]

<http://www.oceanicimaging.com/brief-history-sonar.html> [hämtat: 8.2.2015]

Oemgglobal, 2009. *Choosing a Sub-Bottom Profiler* [Online]

<http://www.oemg-global.com/subbottomprofilers.html> [hämtat: 9.4.2015]

Oy Meridata Finland Ltd, 2015a. [Online]

<http://www.meridata.fi/company.shtml> [hämtat: 9.4.2015]

Oy Meridata Finland Ltd, 2015b. Mailkorrespondens med Kim Olá

Oy Mapteam Ab 2009. [Online]

http://www.Oy_Mapteam_Ab.fi/index_sw.html [hämtat 12.2.2012]

Society of Exploration Geophysicists, (u.å.). *Recommended standards for digital tape formats* [Online]

http://www.seg.org/documents/10161/77915/seg_y_rev0.pdf [hämtat: 9.4.2015]

Substructure, (u.å.). *Single-Beam SONAR* [Online]

<http://substructure.com/about/marine-services-information/hydrographic-surveys/what-is-sonar/single-beam-sonar/> [hämtat: 10.12.2014]

Teledyne BlueView, 2014. *BV5000 User Handbook* [Online]

<http://www.blueview.com/assets/Uploads/downloads/202882-01-Rev-D.pdf>
[hämtat: 8.4.2014]

Teledyne BlueView, (u.å.). *QuickStitch* [Online]

<http://www.blueview.com/software/3d-mechanical-scanning/quick-stitch/>
[hämtat: 23.4.2015]

Tomczak, 2011. *Modern methods of underwater positioning applied in subsea mining* [Online]

<http://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.../Tomczak.pdf>
[hämtat: 10.12.2014]

Tritech, 2015a. *Our Background* [Online]

<http://www.tritech.co.uk/about> [hämtat: 10.4.2015]

Tritech, 2015b. Mailkorrespondens med Richard Smith**Tritech, (u.å.). *Eclipse - Multibeam Sonar for 3D Model View of Sonar Imagery***

<http://www.tritech.co.uk/product/multibeam-sonar-for-3d-model-view-of-sonar-imagery-eclipse> [hämtat: 10.4.2015]

Triton Imaging Inc, (u.å.). *Triton Software Equipment Compability* [Online]

<http://www.tritonimaginginc.com/site/content/software/compatibility/index.htm> [hämtat: 7.4.2014]

USGS, 2014a. *Bathymetry systems* [Online]

<http://woodshole.er.usgs.gov/operations/sfmapping/bathy.htm> [hämtat: 10.12.2014]

USGS, 2014b. *WHSC Sidescan Sonar systems* [Online]

<http://woodshole.er.usgs.gov/operations/sfmapping/sonar.htm> [hämtat: 13.1.2015]

USGS, 2014c. *WHSC Seismic Profiling systems* [Online]

<http://woodshole.er.usgs.gov/operations/sfmapping/seismic.htm> [hämtat: 16.2.2015]

USGS, 2014d. *WHSC Seismic Profiling systems Water Gun* [Online]

<http://woodshole.er.usgs.gov/operations/sfmapping/watergun.htm> [hämtat: 19.2.2015]

USGS, 2014e. *WHSC Seismic Profiling systems Air Gun System* [Online]

<http://woodshole.er.usgs.gov/operations/sfmapping/airgun.htm> [hämtat: 19.2.2015]

USGS, 2014f. *WHSC Seismic Profiling systems Boomer* [Online]

<http://woodshole.er.usgs.gov/operations/sfmapping/boomer.htm> [hämtat: 20.2.2015]

USGS, 2014g. *WHSC Seismic Profiling systems Electrode Sparker* [Online]

<http://woodshole.er.usgs.gov/operations/sfmapping/sparker.htm> [hämtat: 20.2.2015]

USGS, 2014h. *WHSC Seismic Profiling systems Chirp systems* [Online]

<http://woodshole.er.usgs.gov/operations/sfmapping/chirp.htm> [hämtat: 24.2.2015]

QPS, (u.å.). *Fledermaus* [Online]

<http://www.qps.nl/display/fledermaus/main> [hämtat: 9.4.2015]

11.1 Figurer

Applied Acoustics [Online]

<http://www.appliedacoustics.com/sites/default/files/6.png> [hämtat: 20.2.2015]

Ck-12 [Online]

<http://www.ck12.org/physical-science/Wavelength-in-Physical-Science/lesson/Wavelength/> [hämtat: 3.4.2015]

Daily Mail [Online]

<http://www.dailymail.co.uk/news/article-2112456/Titanic-pictures-Extraordinary-sonar-images-map-shipwreck-ocean-floor.html> [hämtat: 13.1.2015]

GEO Marine Survey Systems [Online]

<http://www.geomarinesurveysystems.com/products/seismic-equipment/sparker-systems> [hämtat: 20.2.2015]

Hydropalooza [Online]

www.hydropalooza.noaa.gov%2Fpress.html&ei=nG-mVPvIKpH1asO5gKAC&bvm=bv.82001339,d.d2s&psig=AFQjCNF02RkNPxPFEJfPqYfSZk0Dp2Pf0w&ust=1420280061223900 [hämtat: 16.12.2014]

Innomar Technologie GmbH [Online]

<http://www.nauticexpo.com/prod/innomar-technologie-gmbh/profiling-system-sub-bottom-39936-310836.html> [hämtat: 1.4.2015]

<http://www.nauticexpo.com/prod/innomar-technologie-gmbh/profiling-system-sub-bottom-39936-310838.html> [hämtat: 1.4.2015]

Kongsberg [Online]

<http://www.km.kongsberg.com/ks/web/nokbg0238.nsf/AllWeb/844A3B74C6AF09AFC125772F002A505B?OpenDocument> [hämtat: 12.3.2015]

<http://www.km.kongsberg.com/ks/web/nokbg0240.nsf/AllWeb/4C96981FE94B68F3C125797B004FCB93?OpenDocument> [hämtat: 5.4.2015]

Long baseline acoustic positioning system [Online]

http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/ec/LBL_Acoustic_Positioning_System_Aquamap_Diver.jpg [hämtat: 9.2.2015]

Marine Technology News [Online]

<http://www.marinetechnews.com/news/technitrade-invests-mechanical-scanning-497454> [hämtat: 8.4.2015]

MB System [Online]

http://www.mbari.org/data/mbsystem/sonarfunction/Sub_bottomProcessing/sub_bottomdataprocessing.html [hämtat: 24.2.2015]

Oceanic Imaging Consultants [Online]

<http://www.oicinc.com/images/> [hämtat: 4.1.2015]

Ozcoasts [Online]

http://www.ozcoasts.gov.au/glossary/def_s-t.jsp [hämtat: 10.12.2014]

Petroleum Geo – Services [Online]

<http://www.pgs.com/pageFolders/210595/PGS01381.jpg> [hämtat 19.2.2015]

Short baseline acoustic positioning system [Online]

http://en.wikipedia.org/wiki/Short_baseline_acoustic_positioning_system#mediaviewer/File:SBL_Acoustic_Positioning_System_PILOT.jpg [hämtat: 12.2.2015]

SMHI [Online]

<http://www.smhi.se/tema/havsmiljo> [hämtat 9.4.2015]

Spaceref [Online]

<http://www.spaceref.com/news/viewpr.html?pid=32348> [hämtat 12.3.2015]

Studerasmart.nu [Online]

<http://www.studerasmart.nu/kurshjalpen/fysik/fysik-2/vagor/> [hämtat: 19.1.2015]

Subsea world news [Online]

<http://subseaworldnews.com/2012/01/15/usa-blueview-pens-integration-agreement-with-outland-technology/> [hämtat: 13.3.2015]

<http://subseaworldnews.com/wp-content/uploads/2012/03/UK-Coda-Octopus-Products-and-Seatronics-Pen-Echoscope-TAP-Agreement.jpg> [hämtat: 14.4.2015]

Thien Nam Positioning [Online]

<http://thiennampositioning.com/trangthietbi/detail/9-0-thiet-bi-usbl-ultra-short-base-line.html> [hämtat: 13.2.2015]

Tritech [Online]

http://www.tritech.co.uk/media/products/e4f3548980d1a0f7946271930a62dca0_88494.jpg [hämtat: 10.4.2015]

U.S. Geological Survey [Online]

<http://woodshole.er.usgs.gov/operations/sfmapping/watergun.htm> [hämtat: 19.2.2015]

<http://woodshole.er.usgs.gov/operations/sfmapping/images/airgun.jpg> [hämtat: 19.2.2015]

<http://woodshole.er.usgs.gov/operations/sfmapping/boomer.htm> [hämtat: 19.2.2015]

Sub-bottom profilers

Tillverkare	Innomar	Innomar	Kongsberg	Meridata	Meridata	Meridata	Tritech	EdgeTech	EGS Survey	Applied Acoustics
Modell	SES-2000 Compact	SES-2000 Light	GeoPulse Plus (Sidomontering)	UHF chirp transducer	HF chirp transducer	LF chirp transducer	SeaKing SBP	3100 SB-2165	C-Boom	AA251
Typ	Parametrisk	Parametrisk	Pinger/Chirp	Chirp	Chirp	Chirp	Chirp	Chirp	Boomer	Boomer
Montering *	Sidomontering	Sidomontering	Sidomontering	Sidomontering	Sidomontering	Sidomontering	ROV	Tow fish	Katamaran	Katamaran
Mätdjup (m)	0,5-400	0,5-400		1-1500	1-1200	1 - 200		1 - 300		jan.20
Penetreringsdjup (m) **	40	40	80	20	30	80		80 (lera) 6 (sand)		12
Lagerupplösning (cm)	5	5	6	< 3	< 10	< 20		6 - 10	< 20	< 9
Frekvensvidd (kHz)	2 - 22	2 - 22	1,5 - 18	20 - 50	10 - 20	2 - 9	20 el 200	2 - 16	1,76	0,5 - 10
Strömförbrukning	< 200 W (12/24 V DC)	< 250 W (100-240 V AC)	200 W (110-230 V AC)	400 W	700 W	250 W	410 W (24 V DC)		800 W	
Mätningar / s	40	50	4 (chirp) / 10 (ping)						6	
Mått (mm)	340 x 80 x 260	340 x 80 x 260	700 x 520 x 460	Diameter: 184, Höjd: 110	Diameter: 184, Höjd: 120	184 x 184 x 263	Diameter: 200, Höjd: 319	1050 x 670 x 400	Katamaran: 950 x 1030 x 370	Katamaran: 620 x 530 x 100
Vikt i luft (kg)	22	22	120	7	8	11	6,3	76	Katamaran + Boomer: 60	Katamaran + Boomer: 33

* För vissa modeller finns flera monteringsalternativ. De i tabellen nämnda alternativen är de som enligt författarna bäst lämpar sig för uppdragsgivaren

** Dessa värden är beroende av sedimentarten. Siffrorna som används är tagna från tillverkarnas produktpresentationer

Undervattensscannrar

Tillverkare	BlueView	BlueView	CodaOctopus	Tritech
Modell	BV5000-1350	BV5000-2250-N	Echoscope	Eclipse
Frekvens (MHZ)	1,35	2,25	0,375 / 0,610	0,24
Uppdateringsintervall (Hz)	30	30	12	
Skanningssektor horisontalled (°)	45 - 360 (tripod)	45 - 360 (tripod)		
Täckning per svep (°)	40 x 1	40 x 1 / 80 x 1	50 x 50, 50 x 25, 25 x 50, 25 x 25	45 x 1
Max avstånd (m)	30	10	120 / 80	40
Mätningar per svep	256	256	128 x 128 (=16384)	256
Avståndsupplösning (cm)	1,5	1	3	2,5
Format	.son och .xyzi	.son och .xyzi		
Mått (mm)	267 x 234 x 391	226 x 218 x 391	380 x 300 x 160	342 x 115 x 361
Vikt i luft (kg)	9,8	8,7	22	19
Strömförbrukning	45 W (20-29 V DC)	45 W (20-29 V DC)	3-6 A (24 V DC)	60 W (20-28V DC)